

5573  
M6

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**INSTITUTO DE CIENCIAS AMBIENTALES Y ECOLÓGICAS**  
**POSTGRADO EN ECOLOGÍA TROPICAL**

**EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS**  
**EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO**  
**Y LIMITACIÓN NUTRICIONAL**  
**EN UNA CRONOSECUENCIA**  
**DE UNA PLANTACIÓN DE TECA**  
**(*Tectona grandis* L.)**

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**INGENIERO FORESTAL: J. MICHEL MOTHES L.**

**SERBIULA**  
Tulio Febres Cordero

**DONACION**

**Mérida, Diciembre 1997**

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE CIENCIAS  
INSTITUTO DE CIENCIAS AMBIENTALES Y ECOLÓGICAS  
POSTGRADO EN ECOLOGÍA TROPICAL**

**EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS  
EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO  
Y LIMITACIÓN NUTRICIONAL  
EN UNA CRONOSECUENCIA  
DE UNA PLANTACIÓN DE TECA  
(*Tectona grandis* L.)**

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**INGENIERO FORESTAL: J. MICHEL MOTHE L.**

**Tutora: Dra. Elvira Cuevas**

**Trabajo de investigación presentado ante la  
Universidad de Los Andes  
y el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas  
como requisito parcial para optar al grado de  
Magister Scientiae en Ecología Tropical.**

**Mérida, Diciembre 1997**

## I N D I C E

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABLAS.....	ii
LISTA DE ANEXOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
I. INTRODUCCION.....	1
II. DESCRIPCION.....	17
2.1. Ubicación .....	17
2.2. Topografía.....	19
2.3. Geomorfología y geología.....	19
2.4. Pedología.....	20
2.5. Climatología.....	20
2.6. Hidrología.....	22
2.7. Fitología.....	22
2.8. Botánica y autoecología.....	23
2.9. Silvicultura.....	23
2.10. Antecedentes.....	24
III. METODOLOGIA.....	25
3.1. Análisis de los suelos.....	25
3.2. Análisis de los residuos.....	27
3.3. Fertilización .....	27
3.4. Análisis estadístico.....	28

IV. RESULTADOS.....	30
4.1. Caracterización de los suelos.....	30
4.1.1. Textura.....	30
4.1.2. Densidad aparente.....	32
4.1.3. pH.....	34
4.1.4. Carbono orgánico.....	34
4.1.5. Nitrógeno.....	35
4.1.6. Relación carbono/nitrógeno.....	37
4.1.7. Fósforo.....	38
4.1.8. Potasio.....	42
4.1.9. Calcio.....	43
4.1.10 Magnesio.....	45
4.1.11 Acidez cambiabile.....	45
4.1.12 Capacidad efectiva intercambio catiónico	46
4.1.13 Cantidades totales.....	47
4.2. Los residuos orgánicos.....	55
4.2.1. Cantidad de residuos .....	55
4.2.2. Fraccionamiento de los residuos.....	57
4.2.3. Elementos químicos contenidos en los residuos.....	60
4.2.3.1.Nitrógeno.....	60
4.2.3.2.Fósforo.....	61
4.2.3.3.Potasio.....	62
4.2.3.4.Calcio.....	64
4.2.3.5.Magnesio.....	65
4.3. Bioensayo de fertilización .....	68
4.3.1.Observaciones sobre el contenido de los cilindros.....	68
4.3.2.Producción de biomasa radicular.....	68

V. DISCUSION.....	71
5.1. Los suelos.....	71
5.1.1. Características físicas y químicas	
5.1.1.1. Textura.....	71
5.1.1.2. Densidad aparente.....	72
5.1.1.3. pH.....	74
5.1.1.4. Carbono orgánico.....	75
5.1.1.5. Nitrógeno.....	77
5.1.1.6. Relación carbono/nitrógeno.....	78
5.1.1.7. Fósforo.....	79
5.1.1.8. Potasio.....	82
5.1.1.9. Calcio.....	84
5.1.1.10. Magnesio.....	85
5.1.1.11. Acidez cambiante.....	87
5.1.1.12. Capacidad efectiva de intercambio catiónico	88
5.1.2. Cantidades totales.....	89
5.1.2.1. Carbono orgánico.....	90
5.1.2.2. Nitrógeno.....	94
5.1.2.3. Fósforo.....	95
5.1.2.4. Potasio.....	96
5.1.2.5. Calcio.....	97
5.1.2.6. Magnesio.....	98
5.1.3. Integración de las propiedades edáficas	99
5.1.4. Influencia de la plantación sobre la materia orgánica y nutrientes del suelo	102
5.1.5. Implicaciones de manejo .....	105
5.2. Residuos orgánicos	
5.2.1. Cuantificación de los residuos.....	108
5.2.2. Elementos químicos contenidos en los residuos	
5.2.2.1. Nitrógeno.....	111
5.2.2.2. Fósforo.....	113
5.2.2.3. Potasio.....	115
5.2.2.4. Calcio.....	116
5.2.2.5. Magnesio.....	117

5.2.3. Integración de los bioelementos en la hojarasca.....	118
5.2.4. Contribución de los residuos a la fertilidad del suelo.....	120
5.3. Bioensayo de fertilización	
5.3.1. Consideraciones previas al bioensayo y su relación con la hipótesis planteada	125
5.3.1.1. La metodología.....	125
5.3.1.2. Fósforo y fertilización .....	127
5.3.2. Cuantificación de la biomasa radicular..	129
VI. CONCLUSIONES.....	134
VII. BIBLIOGRAFIA.....	136
VIII. ANEXOS.....	150

www.bdigital.ula.ve

## LISTA DE FIGURAS

### FIGURA

- 1 Ubicación de la Reserva Forestal de Ticoporo y de las plantaciones de 1978, 1983 y 1988 en la Unidad II CONTACA.
- 2 Climadiagrama de la Estación EMMALCA (precipitación y evapotranspiración)
- 3 Triangulo de Textura, con la ubicación de cada muestreo de suelo, por edad y profundidad.
- 4
  - a) Porcentaje de carbono orgánico por profundidad de las tres plantaciones.
  - b) Porcentaje de nitrógeno por profundidad de las tres plantaciones.
  - c) Relación carbono/nitrógeno por profundidad de las tres plantaciones.
- 5
  - a) Fósforo total (mg/100g) por profundidad de las tres plantaciones.
  - b) Fósforo orgánico (mg/100g) por profundidad de las tres plantaciones.
  - c) Fósforo disponible (mg/100g) por profundidad de las tres plantaciones.
- 6
  - a) Relación entre el contenido de carbono y nitrógeno, de la totalidad de las muestras de suelo.
  - b) Relación entre el contenido de carbono orgánico y el fósforo total, de la totalidad de las muestras de suelo.
- 7
  - a) Potasio (meq/100g) por profundidad y por edades
  - b) Calcio " " " " "
  - c) Magnesio " " " " "
  - d) Al+H " " " " "

- 8 Contenido total (Kg/ha) de nutrientes en el suelo (0-40 cm. de profundidad) de tres plantaciones de teca de 2, 7 y 12 años.
- 9 Cantidad de hojarasca (t/ha), por edad al final de dos épocas climaticas
- 10 Aporte de hojarasca (t/ha) (promedio anual) de tres rodales de teca de 2,7 y 12 años.
- 11 Fraccionamiento de la hojarasca (g/m<sup>2</sup>) al final de dos épocas climaticas.
- 12 a) Contenido de nitrógeno y fósforo (kg/ha) en la hojarasca, por edades.  
b) Contenido de nutrientes (K, Ca y Mg) (kg/ha) en la hojarasca por edades.
- 13 Aporte total de nutrientes (kg/ha) en la hojarasca, por edades.
- 14 Producción de raíces (g/m<sup>2</sup>) por cada rodal y al cabo de 60, 120 y 180 días.

## T A B L A S

- 1 Valores (medias) de textura, densidad aparente y pH en las plantaciones de teca de los años 88, 83 y 78.
  
- 2 Cantidades totales en suelo (Kg/ha) (media y error estandard) de carbono, nitrógeno y fósforo total, orgánico y disponible en las plantaciones de teca de los años 88, 83 y 78.
  
- 3 Cantidades totales en suelo (Kg/ha) (media y error estandard) de potasio, calcio y magnesio en las plantaciones de teca de los años 88, 83 y 78.

## ANEXOS

- 1 Tabla de referencia para la interpretación de los análisis químicos de suelo
- 2 Análisis de suelo de un rodal de 15 años en la unidad de manejo II CONTACA en la Reserva Forestal de Ticoporo
- 3 Descripción de un perfil de suelo en plantaciones de teca

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## RESUMEN

Los diferentes procesos evolutivos que se manifiestan sobre las interacciones suelo-planta, pueden ser estudiados tomando como referencia sistemas simples, homogéneos y de antecedentes conocidos. Por ello se selecciono una reforestación mono específica, creciendo sobre un mismo tipo de suelo y en barbechos en sucesión de diferentes edades. Los objetivos fueron determinar y comparar los efectos de cada comunidad sobre las propiedades fisico-químicas del suelo, el aporte y calidad de sus residuos y su posible nutriente limitante. Se tomó en consideración el estado de desarrollo previo y actual de cada sistema para interpretar los efectos de estas variables sobre los diferentes procesos biológicos que conforman la fertilidad del suelo. Se parte de una revisión general de los diversos conceptos que integran e interactúan en los compartimientos de un ecosistema forestal.

El estudio se realizó en la Reserva Forestal de Ticoporo, Estado Barinas, donde existen plantaciones de teca *Tectona grandis*. Según el factor de cobertura, el cual se basó en 95 % de gramíneas, 50 % de gramíneas- 50 % de teca y 100 % de teca, se escogieron los rodales de 2, 7 y 12 años respectivamente. Las tres edades están establecidos sobre Inceptisoles de textura franco-limosos a franco-arcillosos y los suelos son medianamente ácidos (ph de 5.25).

Los resultados indican que los porcentajes de carbono orgánico son mayores en las plantaciones de 2 y 12 años respecto a la edad intermedia, presentándose diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en las cantidades totales del perfil entre las tres edades. La relación carbono/nitrógeno

resultó elevada para las tres edades (no se presentaron diferencias significativas), indicando una lenta descomposición de los residuos producidos por cada comunidad. El fósforo orgánico guarda una relación proporcional con el fósforo total, presentándose diferencias significativas entre la plantación de 12 años y las menores, por el contrario no se presentaron diferencias en el fósforo disponible. El potasio aparece en mayor cantidad en la plantación intermedia, presentándose diferencias significativas con la plantación de mayor edad. El calcio aumenta progresivamente con la edad, presentándose diferencias significativas entre las tres edades.

En términos generales puede decirse que a partir de un pastizal (plantación de 2 años) y luego del establecimiento definitivo del monocultivo forestal (plantación de 12 años) se origina un cambio positivo en el suelo, representado por el incremento de materia orgánica en el perfil. Sin embargo la fuente del carbono orgánico varía dependiendo del tipo, composición y cantidad de necromasa (hojarasca) que se reincorpora al suelo. Del mismo modo considerando la sumatoria de los elementos nutricionales (N, P, K, Ca y Mg) que colocan a la plantación de 12 años con el mayor valor, este es reflejado en gran parte por la dominancia del ion calcio.

Por otro lado, los resultados demuestran una tendencia a la baja en función de la profundidad. No obstante, la plantación recién establecida concentra sus mayores valores en los primeros diez centímetros de la superficie del suelo, en tanto el rodal de mayor edad, presenta un descenso más gradual en sus valores con respecto a la profundidad.

La cantidad de hojarasca fue evaluada al final de las dos estaciones climáticas (lluvia y sequía). La plantación dominada por el pastizal concentra la mayor biomasa muerta al final del período lluvioso. Por el contrario, el rodal puro presentó su mayor valor al final del período seco. El rodal intermedio mantuvo un valor similar en ambos períodos.

En relación a los nutrientes contenidos en los residuos, la cantidad de nitrógeno fue significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) desde la plantación de 2 años a la de 12 años. Los resultados de fósforo indican diferencias significativas entre las tres edades. El potasio presentó el mayor valor en la edad de 2 años mostrando diferencias significativas con las otras dos edades. El contenido de calcio fue más del doble en el rodal puro que en el recién establecido; fueron igualmente significativos entre las plantaciones de 7 y 12 años. El magnesio se ubica con el mayor valor en la plantación de 2 años siendo significativo con la plantación de 7 años.

Con relación al nutriente limitante, el bioensayo de fertilización con fósforo sobre la base de la producción de raíces, indica que tuvo su mayor efecto en la plantación de 12 años siendo la respuesta significativa al cabo de 180 días. Esto demuestra que el rodal recién establecido pudiera estar utilizando el fósforo lábil proveniente de la vegetación anterior, en cambio en el rodal de mayor edad el fósforo ha sido utilizado durante las sucesivas etapas de crecimiento.

## I. INTRODUCCION:

La estructura de un ecosistema terrestre se caracteriza por poseer dos tipos de componentes: bióticos y abióticos.

Los primeros abarcan los organismos autótrofos y heterótrofos, que estructurados sobre la base de un funcionamiento metabólico, forman las cadenas tróficas. Los segundos, que caracterizan y/o modifican los procesos, agrupan los factores geológicos, edáficos, fisiográficos y climáticos.

Ambos componentes están interrelacionados entre si, por los diferentes flujos energéticos y nutricionales, imprimiendo al ecosistema una dinámica permanente.

El "suelo" puede ser considerado como un subsistema funcionalmente integrado al subsistema "vegetación" (Swift & Lavelle, 1987) y constituye más que un simple medio para el crecimiento de las plantas. Es un lugar de intensa actividad biológica y química la cual da como resultado la inmovilización y mineralización de elementos disponibles para el desarrollo de éstas. Su importancia radica, entre otras, en proporcionar un soporte físico, favorecer condiciones hídricas y de aireación, servir de alojamiento a una multitud de organismos y ser una fuente de nutrientes (Pritchett, 1986).

Las propiedades físico-químicas, los procesos biológicos y los elementos minerales, son los tres componentes esenciales del sistema interactivo que determinan la fertilidad del suelo (Sánchez, 1973). El producto de esa interacción se manifiesta a lo largo de los procesos formativos, cuyo resultado morfológico constituye el perfil del suelo. Los

procesos de formación se asocian con adiciones, transformaciones, retrasados y pérdidas (Salas, 1987).

Las propiedades de los suelos, desarrollados bajo la influencia de los factores ya mencionados, condicionan en gran medida el crecimiento, desarrollo y mantenimiento de un determinado tipo de vegetación. A su vez, la vegetación tiene marcados efectos sobre muchas propiedades del suelo (Swift et al 1979; Coleman et al 1984; Dommergues 1985; Proctor 1987). Por ello, no se puede desligar la estrecha relación que se manifiesta entre los suelos y las comunidades de plantas, considerando que uno influencia en la formación del otro y viceversa, a lo largo de la fase evolutiva del ecosistema.

Ambos subsistemas controlan y son controlados directa e indirectamente por una amplitud de procesos biológicos de diversa naturaleza; entre los más importantes se encuentran los asociados a la fracción conocida como materia orgánica (Swift & Lavelle 1987).

El término materia orgánica, aceptado por muchos edafólogos, es una categoría muy amplia que incluye tanto a los materiales muy poco alterados como aquellos que sí han experimentado profundos cambios (Fassbender y Bornemisza, 1987). Esto ha conducido con frecuencia al empleo indistinto de los términos residuos, materia orgánica y humus, cuando en realidad estos tienen diferentes significados (Box, 1987).

Los residuos se refieren a los desechos reconocibles provenientes de la vegetación (ej: tallos, hojas, frutos..). Dado que por lo general el mayor volumen corresponde a las hojas (Vitousek, 1984, entre otros), a menudo se le asigna el nombre de hojarasca. Esta capa de hojarasca o mantillo orgánico agrupa un conjunto de fracciones, cualitativa y cuantitativamente diferentes

(Franco, 1979, Gonzalez-Iturbe, 1988, Lugo et al, 1990). Representa el aporte principal de los elementos biogénicos depositados en la interfase atmósfera-litósfera, asiento de condiciones microclimáticas específicas (Toutain, 1987), las cuales tienen un efecto en la descomposición de estos residuos.

La materia orgánica del suelo es definida como la fracción formada por residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, células y tejidos de organismos y sustancias sintetizadas por la población del suelo (Soil Science Society of América, 1965). Esta clásica definición abarca elementos y funciones muy diversas, dado que la composición de la materia orgánica es muy heterogénea, pues la cantidad de compuestos químicos que se presentan en ella es muy amplia (Fassbender y Bornemisza, 1987). Más aún, la fuerte relación que se manifiesta entre ellos a partir de sus funciones individuales, hace difícil separarlos dentro del contexto de la fertilidad del suelo (Woomer e Ingram, 1990). En todo caso, la materia orgánica del suelo constituye un subproducto generado por la degradación o descomposición de los residuos provenientes de varias fuentes. Sometida a un proceso de permanentes transformaciones, constituye una reserva nutricional por contener carbono orgánico, nitrógeno, fósforo y otros elementos que son requeridos para el desarrollo microbiano (Alexander, 1980), las plantas y la fauna del suelo. Allí ocurre la conversión de compuestos orgánicos a elementos inorgánicos, producto del proceso de mineralización. Sin embargo, la materia orgánica resulta de la ocurrencia de procesos transitorios (Duxbury et al, 1989).

Por la acción de los descomponedores y de las actividades de síntesis microbianas se forma un producto más o menos estable, formado por organo-minerales complejos difícilmente biodegradables (Sarmiento, 1984), conocido como humus o fracción pesada. Este debe considerarse como una porción del suelo compuesta por un grupo heterogéneo de sustancias, algunas de las cuales

tienen origen y estructura química desconocida (Alexander, 1980). Se producen ácidos húmicos y fúlvicos como nuevos componentes, generalmente de coloración oscura y con un alto grado de polimerización. El humus puede definirse como el resultado de un proceso final, que caracteriza la evolución de la materia orgánica (Garay, 1987), a partir de la incorporación de los residuos sobre el suelo.

Los tratados clásicos sobre la bioquímica formativa de la materia orgánica (Jenny, 1950; Greenland y Nye, 1959; Kononova, 1961; Duchaufour, 1970, entre otros), son indicativos de que esta se caracteriza por la influencia de numerosos factores, externos e internos, difícilmente separables entre sí. Las interacciones íntimas, a través del tiempo y unidas por diversos mecanismos, le confieren una estructura vertical integradora. Además, su nivel de influencias sobre la formación y conservación de las propiedades del perfil del suelo, son expuestas bajo los mismos atributos (Oades et al, 1989). Esto origina, que se emplee el término colectivo de materia orgánica. La literatura actual utiliza indistintamente este vocablo cuando se refiere al mantenimiento de la fertilidad del suelo.

Así por ejemplo, Swift et al. ( 1979), señalan que las variaciones locales en clima , topografía, suelo y cobertura vegetal pueden producir marcadas diferencias en la tasa de elementos orgánicos, mineralización y acumulación de materia orgánica. Más específicamente, Anderson y Swift (1983) y Anderson et al (1989), jerarquizan la formación de la materia orgánica a partir del macroclima, la calidad de los residuos incorporados al suelo, las condiciones físico-químicas y las actividades de los invertebrados y microorganismos. Y, más ampliamente, Levy (1988) considera que la noción de

fertilidad depende de la escala de la región estudiada, de las características propias de las especies y de las propiedades específicas del sitio.

Uno de los principales procesos que permiten el mantenimiento de la fertilidad del suelo propiciando una producción continua de materia orgánica, es el referido al ciclo de nutrientes.

El término ciclo de nutrientes es descrito por Golley (1983) como la extracción de elementos presentes en el suelo y en la atmósfera por organismos vivos, pasando por la biosíntesis que involucra la formación de compuestos complejos, la biogeocenosis de la que forman parte los organismos muertos, hasta el regreso de los elementos a la atmósfera y al suelo con la hojarasca que va a formar la materia orgánica. Puede resumirse como el intercambio dinámico de elementos nutritivos entre las partes vivientes y no vivientes del ecosistema (Foth, 1985).

El éxito de un ecosistema depende en gran medida de su capacidad para recircular y acumular los nutrientes que limitan su productividad (Babbar y Ewel, 1989). La concentración de nutrientes dentro de cualquier parte del ecosistema responde a un adecuado balance funcional (Odum, 1972; Chatuverdi y Singh, 1987).

La comunidad vegetal logra captar los nutrientes a partir de diferentes fuentes externas (Hilton, 1987) y del almacenamiento de su propia biomasa (Odum, 1972; Sanchez et al, 1985). Los cambios en el status nutricional de la superficie y subsuperficie del suelo, pueden reflejar la cantidad y el tipo de nutrientes utilizados y devueltos por la vegetación, debido a que las plantas utilizan los nutrientes del subsuelo y los devuelven a través de la hojarasca a la superficie del mismo (Singh et al, 1987).

Nuevamente puede manifestarse aquí, tal como lo sostiene Proctor (1987), que el ciclaje de nutrientes envuelve un juego de retroalimentación en el cual el suelo influye directa o indirectamente sobre la vegetación y viceversa.

Se han comprobado diferentes "estrategias" en el uso de nutrientes, entre plantas que crecen en suelos pobres y plantas que crecen en suelos ricos, denotando una eficiencia diferencial en el uso de estos (Chapin, 1980; Vitousek, 1984; Cuevas y Medina, 1986). La existencia de un ciclo de nutrientes en un bosque tropical maduro, fue reconocido primeramente por Hardy (1936) en Trinidad; desde entonces muchos estudios han tratado de cuantificar este fenómeno a fin de comprender los mecanismos responsables del crecimiento de la masa forestal en suelos infértiles (Sánchez, 1973). Jordán y Herrera (1981) consideran que la diferencia entre las formaciones forestales, tanto del medio templado como tropical, bajo condiciones eutróficas u oligotróficas, no reside sólo en su productividad sino también en los mecanismos de conservación de nutrientes. Para Medina y Klinge (1983), la acumulación de biomasa aérea no es un indicador principal de la producción. La distribución de la producción de biomasa puede dar a conocer los patrones de funcionamiento del ecosistema (Cuevas et al, 1991). Según Fassbender y Grim (1981) la mayor reserva orgánica de los bosques tropicales se encuentra en los tallos, biomasa que no participa con la misma intensidad en los procesos de transferencia del ecosistema. Por otra parte, Lugo y Brown (1986) han encontrado que el suelo constituye igualmente una reserva orgánica importante.

La relativa independencia ecológica en la que se sitúa el reciclaje de bioelementos, depende inicialmente de las propiedades físicas y químicas del suelo (Richards, 1952; Odum, 1969; Franco, 1979). Mediante los procesos de

meteorización y pedogénesis se establece un banco de nutrientes , posibilitando el funcionamiento de los ecosistemas y la acumulación de materia orgánica (Sarmiento, 1984). Luego, en cada componente del ecosistema aparecen las diferentes respuestas adaptativas que optimizan los mecanismos del ciclaje de nutrientes.

Un patrón general durante la sucesión es que el reciclaje interno de nutrientes se incrementa con el tiempo y la planta empieza a ser menos dependiente de la adquisición de nuevos suministros por parte del suelo (Odum, 1969; Vitousek y Reiner, 1975; Berish y Ewel, 1988). Esta independencia es lograda por la caída y recirculación de los residuos (hojarasca y raíces), propia de cada especie. La caída de hojarasca, representa uno de los flujos importantes del ciclo biogeoquímico en ecosistemas forestales y su cuantificación tiene una importancia capital sobre la materia orgánica (Santa Regina et al., 1989). Un ecosistema puede calificarse de auto sustentado al adquirir una capacidad para acumular y recircular los nutrientes contenidos en el follaje y sus raíces (Babbar y Ewel, 1989).

Los estudios de producción de hojarasca y su relación con la dinámica y evolución de los bosques son importantes para el entendimiento de los ecosistemas (Bray y Gorham, 1964; Proctor, 1987; Lavelle, 1987; Lonsdale, 1988; Puig y Delobelle, 1988). Numerosos autores (Klinge, 1977; Franco, 1979; Tanner, 1980; Grimm y Fassbender, 1981; Grubb y Edwards, 1982; Anderson et al., 1983; Uhl y Jordan, 1984; Zinck, 1986; Proctor, 1987; Cuevas y Medina, 1986, 1988; entre otros) han investigado la producción de hojarasca en ecosistemas boscosos, recalando la importancia de su descomposición en la liberación de nutrientes.

Swift et al. (1979), han demostrado como la velocidad de descomposición de la hojarasca esta relacionada de forma positiva con el contenido de nutrientes y con la calidad del substrato, que constituye el medio en el cual se desenvuelven los organismos. Sin embargo, la descomposición es un proceso complejo que envuelve tanto la inmovilización de nutrientes como su liberación. En opinión de Proctor (1987), la medición de hojarasca puede dar una sub o sobre estimación, por lo tanto, existen errores como indicador del status nutricional del sistema global.

Las raíces constituyen un componente importante del ciclaje de nutrientes, habida cuenta su papel principal en la absorción de los elementos minerales y su contribución en el aporte de materia orgánica y nutrientes. Desde Richard (1952) y Nye & Greenland (1960), se afirmaba que las raíces forestales tropicales contribuían de manera muy eficaz en el mantenimiento de un ciclo "eficiente" de elementos nutritivos. La utilización del término eficiente hace referencia a la tasa con la cual son mantenidos y reabsorbidos los elementos liberados durante la descomposición.

El efecto de las raíces en los procesos del suelo se asocian a una serie de fenómenos tipo fuente/sumidero (Cuevas et al,1989). Mediante un bombeo a partir del suelo la masa vegetal puede reciclar una proporción considerable de nutrientes que de otra manera pudieran perderse por lixiviación en la zona radical (Sánchez et al., 1985, 1989).

En los primeros estadios sucesionales, después de una perturbación severa, cuando aún no se ha formado la capa de hojarasca, las raíces se extienden más profundamente en el suelo (Berish, 1982; Bowen y Nambiar 1984; Sánchez et al.,1989). La formación de las raíces profundas y de mayor diámetro es un largo proceso y ocurre posteriormente al desarrollo de las raíces finas

(Berish y Ewel, 1988). A medida que se desarrolla la capa de hojarasca y se incrementa la materia orgánica en las capas superficiales del suelo a lo largo de la sucesión, la distribución de nutrientes se concentra hacia la superficie del suelo y la mayoría de las raíces finas se ubican en esa parte (Sánchez et al., 1989). Los elementos mineralizables ubicados a nivel de la hojarasca y de la capa orgánica superficial, pueden ser directamente utilizados por la vegetación gracias a la asociación hongo-raíz, representada por las micorrizas, las cuales influyen directamente en estos procesos (Bolan, 1991).

Numerosas investigaciones afirman que la mortalidad y la sustitución de raíces finas es un mecanismo de conservación de nutrientes. El reconocimiento de que puede haber una alta tasa de reciclaje de raíces finas ha influido sobre el modo tradicional de evaluación del ciclo de nutrientes en sistemas forestales; en algunas situaciones, la tasa de reciclaje de raíces finas puede ser más significativa que el aporte de hojarasca (Bowen, 1984; Sánchez et al. 1989). Las raíces pueden proveer directamente un mayor suministro de materia orgánica al suelo que la hojarasca (Lugo et al., 1990). Esa proporción elevada de materia orgánica formada dentro del suelo puede ser tanto más importante que la de la hojarasca, ya que su efecto puede incidir más directamente en la formación de la materia orgánica del suelo y en el ciclado de nutrientes (Cuevas et al., 1991).

El incremento de la biomasa radical puede servir como indicador del status nutricional de un suelo (Berish, 1982). A su vez, la capacidad inicial de producción radical fina de un ecosistema terrestre puede ser un medio de evaluación de la limitación nutricional de ese ecosistema (Cuevas y Medina, 1988).

Las raíces constituyen la parte subterránea de la planta en contacto directo con el suelo. Por ello, reflejan en primer instancia, las condiciones

hídricas y químicas del mismo. La disponibilidad de nutrientes en el suelo, también puede afectar la tasa de crecimiento, distribución y la biomasa radicular (Pritchett, 1986).

En la gran mayoría de los ecosistemas tropicales, el fósforo es un nutriente catalogado como el principal elemento limitante para la producción primaria, por lo que en el desarrollo de procesos de conservación y de reciclado interno, adquirirá la más alta prioridad durante la evolución de estos ecosistemas (Sarmiento, 1984).

Es bien reconocido, que el ciclo del fósforo entre el suelo y las plantas, es uno de los más complicados de todos los nutrientes. López-Hernández (1977) lo reconoce como uno de los tópicos más extensamente estudiado en la Ciencia del Suelo. En zonas tropicales, el fósforo es definido como un elemento doblemente crítico, debido a las bajas concentraciones en que se encuentra en los suelos aunado a los fenómenos de retención a que es sometido, ya sea por los sesquióxidos de hierro y aluminio, por el calcio o por los materiales de tipo amorfo. Su ciclaje es influenciado por su baja movilidad y solubilidad. Por otra parte, el fósforo afecta significativamente la acumulación y transferencia de C, N y S, lo que determina la estabilidad y productividad de los ecosistemas (Vitousek y Sanford, 1986; Tiessen, 1991).

Tanto en suelos cultivados como en suelos con pastos o plantaciones boscosas, la disponibilidad del fósforo puede variar estacionalmente en respuesta a las reacciones biológicas o químicas del suelo, al ambiente climático local y a su manejo precedente (Kuo y Jellum, 1987).

Coleman et al. (1983, 1984) Rojas y Reyes (1989) y Anderson et al.(1989), entre otros, demostraron la importancia funcional desempeñada por bacterias, hongos solubilizadores, nematodos y en general por las

interacciones de la micro fauna en el flujo de formas inorgánicas y orgánicas en el perfil del suelo. Recientemente, Bolan (1991) realizó una extensa revisión crítica sobre el papel desempeñado por los hongos micorrizicos en relación al fósforo. Según este autor, el incremento en la absorción de este elemento por efecto de la población de micorrizas puede deberse a varios procesos: incremento en la exploración física del suelo, modificación del entorno radicular, aumento del almacenaje de fósforo absorbido, eficiente transferencia de fósforo hacia el sistema radical y un uso óptimo de este dentro de la planta.

La transición de la estación seca a la de las lluvias corresponde en la mayoría de los ecosistemas, a la puesta en marcha de los mecanismos de liberación de nutrientes (Swift y Lavelle, 1987) y particularmente influyen sobre las reacciones de los fosfatos en el suelo, su tasa de difusión y su aprovechamiento por las plantas (Solórzano, 1989).

Las diferentes intensidades de intervención de los suelos (deforestaciones, remociones de los horizontes, agregación de necromasa, quemas, estadio de la sucesión, etc..) afectan las reservas de fósforo (Cornforth, 1970; Adejuwon y Ekanade, 1988) y en especial los niveles de fósforo orgánico (Uhl et al., 1982; Szott, 1991).

La escasez de fósforo puede ser compensada por el suministro de fertilizantes. La mayoría de la información sobre la fertilización de fósforo proviene del sector agrícola y han sido pocos los aportes sobre este tópico en el ámbito forestal (Ballard, 1986; Pritchett, 1986).

En la agricultura, el problema no es tan sólo la compensación del fósforo extraído por la planta, sino el manejo adecuado de las cantidades aplicadas; en monoculturas forestales se deben reponer los niveles sustraídos

(Fassbender y Bornemisza, 1987) del sistema usados parcialmente en la edificación de la biomasa viva.

La deforestación constituye una perturbación en la acumulación y ciclado de nutrientes en los ecosistemas. En el medio tropical, el incremento de las deforestaciones ha generado una drástica extinción de la diversidad biológica aunado a un fuerte impacto ecológico sobre el contexto global de la biosfera (Buschbacher, 1986; Collins, 1986; Tangley, 1986). Venezuela no escapa a esta devastación de sus recursos boscosos, especialmente de la región occidental (Veillon, 1976), que ha dado lugar a un progresivo avance del desarrollo agropecuario, muchas veces cuestionado por su producción incipiente.

Para paliar este avance devastador se tuvo que promocionar (aunque tardíamente), sistemas de manejo con miras a la preservación de esas tierras. Debido a la fuerte presión de tipo socioeconómica, la tendencia se inclina hacia la demostración fehaciente de su capacidad productiva más que de su carácter meramente protector. No obstante, la clave consiste en la combinación de ambos, es decir que la "producción" genere "protección".

La restitución o renovación de los bosques mediante el cual la masa forestal pre-existente se sustituye por una nueva, es conocida como reforestación. Esta se basa en el establecimiento de plantaciones forestales. Sus beneficios pueden reflejarse en una sustancial rebaja de la tasa de deforestación, así como la oferta de bienes materiales -madera, fibras, energía- y de bienes no tangibles (Nambiar, 1984; Gladstone y Ledig, 1990). Desde un punto de vista ecológico, se reactivan los mecanismos de interacción entre los compartimientos físicos, químicos y biológicos del suelo, se incrementa la productividad vegetal pasando por sucesivas formas fisiológicas

y el reciclaje de elementos minerales tiende hacia una eficiente maximización. Sin embargo, el establecimiento del nuevo ecosistema dependerá en primer lugar de los antecedentes del sitio. Es evidente que el sistema no regresa exactamente a las mismas condiciones iniciales, ya que durante el proceso sucesional anterior las características del substrato fueron modificadas (Sarmiento, 1984). En segundo lugar, se está ante una intervención artificial que pretende obtener un tipo de comunidad específica. El sistema quedará sustituido o modificado por otro muy diferente de aquel que surgiría bajo condiciones normales y naturales. Esto implica la aparición de diferentes propiedades cualitativas y cuantitativas.

Aunque los mecanismos básicos entre la nutrición mineral y el crecimiento sean iguales en árboles como en otras plantas (Nambiar, 1984), tanto el volumen y el tipo de materia orgánica del suelo (Woomer e Ingram, 1990) como la intensidad del ciclaje de nutrientes varía en los diferentes ecosistemas (Herrera et al, 1978; Bernhard-Reversat, 1986; Vitousek y Sanford, 1986; Proctor, 1987; Singh, 1989; Brown y Lugo, 1990). Del mismo modo, en plantaciones forestales, tal como lo demuestran Lugo et al. (1990), cada especie de árbol utiliza y tiene diferentes influencias sobre la concentración de nutrientes del sistema. Quizás la explicación más objetiva sería afirmar que las plantaciones forestales, especialmente monoespecíficas, modifican la dinámica de una serie de procesos del sub-sistema suelo-vegetación (Cuevas et al, 1989).

Las plantaciones son un recurso biológico renovable, que manejado desde una perspectiva ecológica y silvicultural adecuada pueden semejar las condiciones del bosque natural. Tal es el caso encontrado por Lugo et al.(1990), en la que plantaciones desarrolladas en el área del Caribe, presentaron mayores niveles de nutrientes y biomasa en la vegetación y la

hojarasca que en el bosque natural. Adejuwon y Ekanade (1988) en Nigeria, constataron que las plantaciones restablecían las condiciones microambientales que existían bajo el bosque tropical lluvioso, protegiendo al suelo de la erosión y al mismo tiempo ofreciendo un ambiente óptimo para las actividades micro y macro orgánicas.

Las investigaciones sobre los procesos biológicos y las consecuencias de las perturbaciones relativas al ciclaje de nutrientes han sido llevadas a cabo en ecosistemas naturales (Swift y Lavelle, 1987). En la actualidad existe poca documentación relacionada con los ciclos de nutrientes en plantaciones tropicales (Lugo et al, 1990) y el conocimiento de sus posibles modificaciones ha sido pobremente estudiado en esos sistemas (Bowen y Nambiar, 1984). En general los estudios realizados en el trópico sobre la evolución de los suelos bajo monocultivos forestales han aportado en algunos casos resultados muy diversos (De las Salas, 1984; Vitousek y Sanford, 1986; Cuevas et al, 1991); la heterogeneidad metodológica y la información con bases diferentes, hace difícil e incierta la comparación de los resultados (Puig y Delobelle, 1988).

Mientras han habido investigaciones sustanciales dirigidas a entender los mecanismos de descomposición de hojarasca y de su tasa de entrada como materia orgánica, hay mucho menos información sobre los efectos de la "calidad" de esta fracción orgánica; inicialmente estos estudios deberían llevarse a cabo en plantaciones de árboles, bajo el mismo clima y material parental, para entender el origen del aporte químico (entradas orgánicas) y su efecto sobre la materia orgánica del suelo (Anderson y Flanagan, 1989).

El estudio de un ecosistema implica un inventario de cada una de las partes que lo componen y de sus respectivos procesos de transferencia de energía. La complejidad de las variables que intervienen simultáneamente junto

con sus mecanismos de interacción, dificulta exponer con veracidad la estructura real de un ecosistema. Sin embargo, si se construyen modelos simplificados que sólo consideren aspectos parciales, se podrá llegar a diversas aproximaciones que permitan vislumbrar la complejidad del conjunto sin haber renunciado a la noción de organicidad y unicidad del sistema como estructura dinámica de sus interacciones cambiantes (Sarmiento, 1984).

Un aporte importante al conocimiento del funcionamiento de un ecosistema puede enfocarse mediante el estudio del subsistema "suelo", en razón de su complejidad ( producto de fuentes heterogéneas ) como sistema ecológico (Lavelle, 1987). Su relevancia participativa y posición estratégica como compartimiento del ecosistema, le confieren un carácter obligado de vía transitoria entre los diferentes flujos energéticos y nutricionales que circulan en él.

Una cuantificación de la dinámica y de los procesos de cambios en los ecosistemas puede ser evaluada a partir de la producción y acumulación de materia orgánica, en la cual mediante varios procesos biológicos ocurre la transferencia de los elementos químicos (Fassbender y Grim, 1981; Fassbender et al, 1985). Inicialmente, esta producción y acumulación de materia orgánica proviene de los residuos vegetales. La proporción de niveles insuficientes o bajos de ciertos elementos ocasiona una limitación nutricional que condiciona, en gran parte, la fase productiva del sistema. La fertilización puede suplir esta deficiencia y su respuesta, relativamente inmediata, puede notarse por el incremento inicial de la biomasa radicular (Cuevas y Medina, 1983).

Las áreas utilizadas con fines de reforestación permiten estudiar comparativamente el efecto de distintas comunidades (creciendo en el mismo tipo de suelo), sobre los procesos de producción de materia orgánica del suelo

y la mineralización de nutrientes (Cuevas et al, 1989). En resumen, a partir de un origen y condiciones conocidas, las plantaciones forestales monoespecíficas son sistemas relativamente simples e ideales que permiten evaluar los factores y procesos de formación que se manifiestan a través de las interacciones suelo-planta.

El establecimiento desde los años setenta de plantaciones monoespecíficas en la Reserva Forestal de Ticoporo permitió evaluar estos aspectos.

Bajo esos lineamientos se plantean los siguientes objetivos:

-Determinar el efecto de la reforestación, a partir de una secuencia de edades de una plantación de teca (*Tectona grandis*), sobre la fertilidad del suelo.

- Determinar la posible limitación nutricional en el ecosistema.

Se propusieron las siguientes hipótesis de trabajo:

- El establecimiento y desarrollo de la plantación tendrá como consecuencia un aumento en la cantidad de materia orgánica del suelo y un incremento de nutrientes disponibles.

- El fósforo es el elemento limitante principal en el ecosistema.

## II. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO:

La información general descriptiva del área de estudio proviene de: Aguilar (1985), Araque y Vergara (1986), Balbuena (1980), Castillo (1971), Contreras (1985), Paredes (1988) y Umaña (1983).

### 2.1 Ubicación

La zona donde están ubicadas las plantaciones de teca, forma parte de la Unidad de Manejo II representada por la empresa Contraenchapados Táchira C.A (CONTACA), una de las concesionarias privadas de la Reserva Forestal de Ticoporo (RFT).

El área se localiza en las proximidades de la vertiente sur de la Cordillera Andina, específicamente en la denominada Región Altos Llanos Occidentales. Pertenece al Estado Barinas, Distrito Pedraza, Municipio Autónomo A.J.Sucre. Geográficamente se encuentra, aproximadamente, entre los meridianos 70 19' 00" y 70 56' 00" de longitud Oeste y entre los paralelos 7 43' 00" y 8 12' 00" de latitud Norte (Figura. 1).

La unidad II tiene una superficie de 40.775 has, dividida en 30 compartimientos de 1300 has c/u. El río Michay es el límite Este y el río Quiu el Oeste. La unidad es atravesada por el río Zapa.

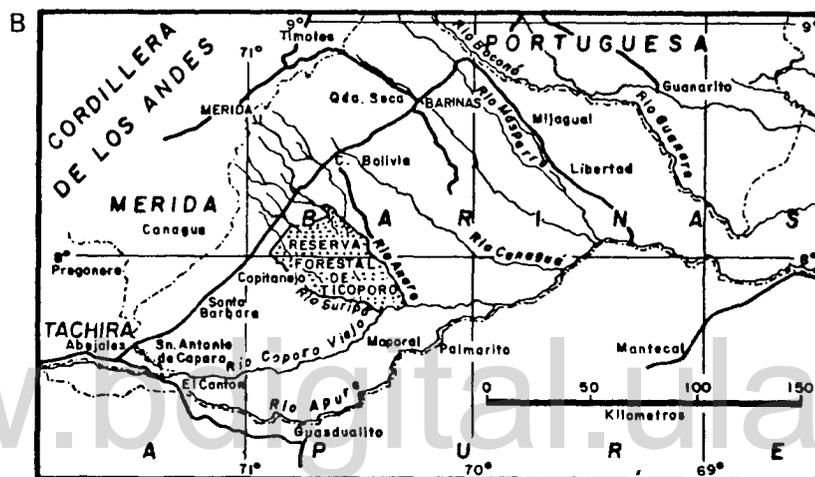
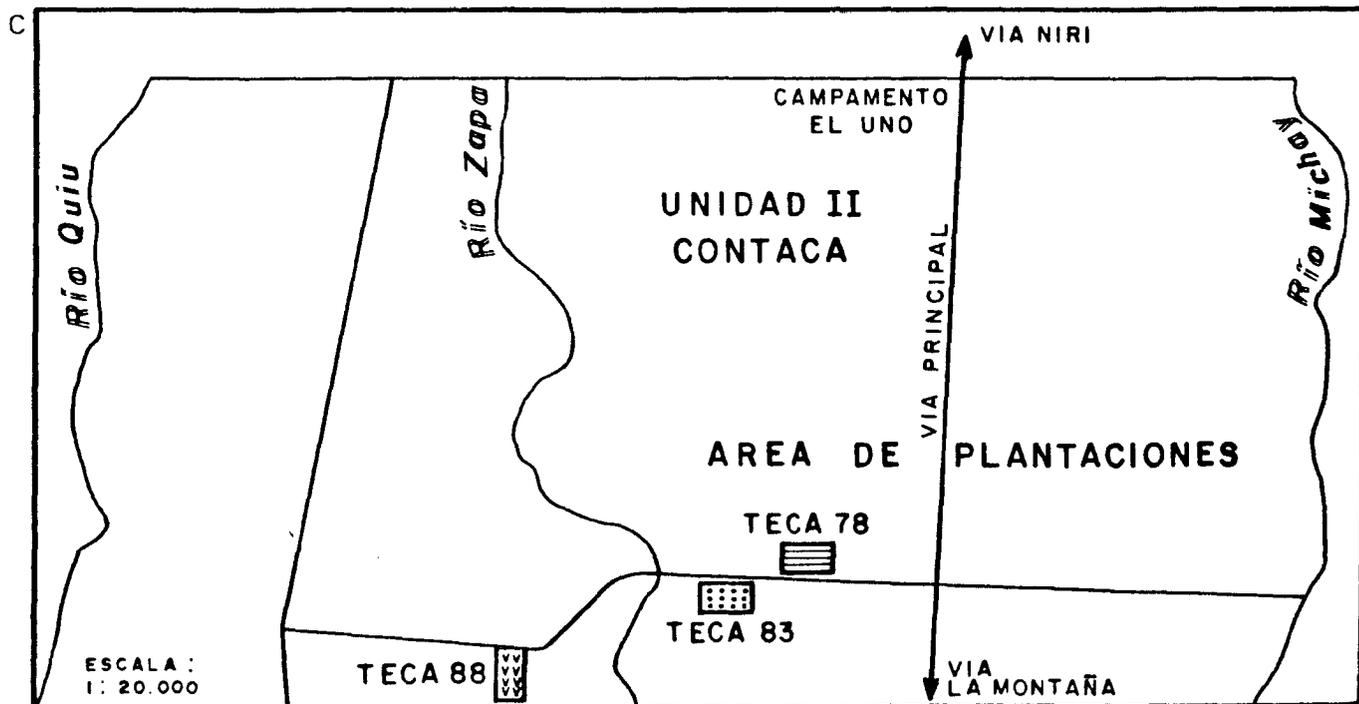


Figura.1.  
 Ubicación de la Reserva Forestal de Ticoporo, Edo. Barinas  
 a y b. Ubicación geográfica  
 c. Ubicación de las plantaciones de teca  
 de los años 1978 (12 años), 1983 (7 años) y 1988 (2 años)  
 en la Unidad II - C.O.N.T.A.C.A., Socopo, Edo. Barinas



## 2.2 Topografía

La reserva tiene una altitud comprendida entre los 130 y 210 m.s.n.m.

La nivelación del terreno tiene una pendiente cercana al 1%, por lo que se clasifica como plano. Esta pendiente tiene una ligera inclinación desde el Norte hacia el Sureste.

## 2.3 Geomorfología y geología

La Reserva ocupa un área de transición entre el pie de monte y la llanura aluvial de desborde, formada por una sucesión de depósitos aportados por numerosos ríos que drenan desde Los Andes.

La región se desarrolló sobre sedimentos de los diferentes períodos del Cuaternario, desde el Pleistoceno Inferior y Superior hasta el Holoceno.

Dentro de esos depósitos se distinguen posiciones geomorfológicas como diques, ejes de explayamiento, napas y cubetas.

A su vez estos depósitos están formados granulométricamente por material grueso recubierto por materiales finos. Entre estos se encuentran: gneises, granitos, micas, esquistos, cuarzos y areniscas cuarcíticas.

El sustrato geológico esta dominado por el mineral caolinita.

## 2.4 Pedología

Los suelos se desarrollaron a partir de sedimentos aluviales provenientes de las montañas andinas. Dependiendo de la distancia de los cauces de los ríos y del tipo de material, se encuentran sitios altos de texturas gruesas, pasando por los intermedios hasta los más bajos de texturas muy finas. Estos se corresponden con las denominaciones de bancos, sub-bancos y bajíos.

El área de estudio está sobre Inceptisoles (distropepts óxicos isohipertérmicos arcillosos), los cuales debido al drenaje lento causado por lo plano del terreno, tienden a estar saturados durante la época de lluvia y a tener una reducida disponibilidad de agua durante la época seca.

## 2.5. Climatología

La figura 2 representa el climadiagrama de la estación EMALLCA, situada a unos 2 Km. del área de estudio, en la que se registran los promedios de los últimos 4 años.

La precipitación se presenta con un patrón de distribución biestacional, marcado por un largo período de lluvia entre abril y noviembre y una estación seca menos prolongada entre diciembre y marzo. La temperatura media anual, para ese período es de 27.13 grados centígrados.

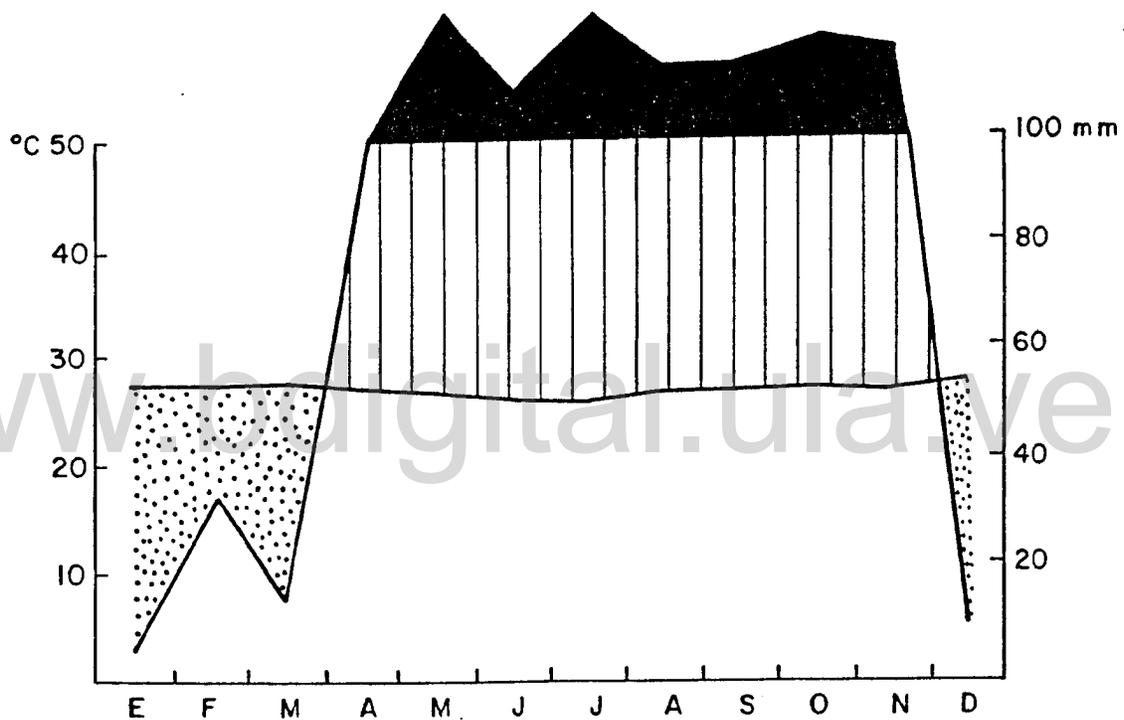


FIGURA 2.  
 Climadiagrama de la Estación EMMALCA  
 -Reserva Forestal de Ticoporo-  
 (a 2 Km. de distancia de la zona de estudio)  
 Precipitación y temperatura (promedio de 4 años)

## 2.6. Hidrología

La reserva pertenece hidrográficamente a la vertiente del río Orinoco, cuenca del río Apure y sub-cuenca del río Suripá.

La unidad posee tres principales ríos. Sin embargo, existen numerosos caños y quebradas que drenan hacia ellos, contribuyendo parcialmente (algunos se secan completamente durante el verano), en un adecuado suministro de humedad al suelo, que guarda relación con un nivel freático favorable al mismo.

## 2.7. Fitología

El tipo dominante de vegetación boscosa de la unidad, puede clasificarse, según Holdridge, como de transición entre el "Bosque Seco Tropical" y el "Bosque Húmedo Tropical"; según Pittier, en "Bosque Tropófito macrotérmico" y según Beard, se pueden encontrar las formaciones estacionales de "Selva Veranera Siempre Verde" y "Selva Veranera Semidecidua".

El plan de manejo de la concesionaria consiste fundamentalmente en a) la explotación de los árboles de valor comercial de más de 35 cm. de diámetro a la altura del pecho (DAP) de maderas duras y de más de 50 cm. de DAP de maderas blandas; b) la regeneración del volumen comercial del bosque mediante plantaciones y c) un plan de desarrollo de vías, viveros, campamentos y programas de investigaciones.

Se destacan 5 especies nativas: Apamate (*Tabebuia rosea*), Caoba (*Swietenia macrophylla*), Mijao (*Anacardium excelsum*), Pardillo Negro (*Cordia apurensis*) y Saqui-Saqui (*Bombacopsis quinata*) y 2 especies introducidas: Melina (*Gmelina arborea*) y Teca (*Tectona grandis*).

## 2.8. Botánica y autoecología

La teca es una especie originaria de Asia oriental, India e Indonesia. Su nombre deriva de la palabra asiática "tekká", que significa madera.

Este árbol, perteneciente a la familia de las Verbenaceas, presenta un tronco recto y elevado (20-50 m de alto), con una copa amplia y alargada. Sus hojas son opuestas, de gran tamaño (45-55 cm. de longitud y 25-35 cm. de ancho), ovadas, cuneiformes en el ápice y la base, densamente tomentosas en la cara inferior, gruesas y coriáceas. Los racimos florales (panículas, de unos 50 cm. de diámetro) son terminales y erectos. Las flores son estériles. Los frutos (drupas), de forma de esfera u oviformes, tienen un hueso duro con cuatro o menos semillas.

Es una especie sumamente fotófila, que se desarrolla hasta los 900 m.s.n.m., en un rango de temperatura entre los 15 y 40°C y una precipitación entre 1250 y 3800 mm.; debe alternarse necesariamente una estación lluviosa larga de otra seca y más corta. Obtiene su mejor desarrollo en suelos fértiles, profundos y de buen drenaje.

## 2.9. Silvicultura

Para el establecimiento de la plantación, se elimina la vegetación previa (normalmente potreros o barbechos sin uso) y se la deposita en camellones. El suelo es posteriormente arado y rastreado con la ayuda de tractores agrícolas. Se planta por stumps al iniciarse la temporada de lluvias.

Para su mantenimiento inicial se realizan en el primer año, tres limpiezas con un sistema de rotativas y completadas en forma manual (machete). Dado que al eliminar la vegetación previa aumenta la cobertura de gramíneas en el sitio, a partir del 2do. y hasta el 5to. año se realizan dos limpiezas anuales. Adicionalmente se previenen los incendios de vegetación durante la época seca.

#### 2.10. Antecedentes del area de estudio

Las áreas en que se asientan las plantaciones de Teca y Melina fueron utilizadas inicialmente durante la invasión de agricultores y ganaderos. Alrededor de la decada de 1950 los bosques semi-decuidos originales fueron talados y quemados, dando lugar al establecimiento de pastizales, con un predominio de *Panicum maximun* y otras gramíneas C4.

En 1973 es decretada la Reserva Forestal de Ticoporo y esos terrenos, luego de su abandono, fueron cubiertos por una vegetación de tipo secundaria.

La plantación de 12 años estuvo cuatro años bajo sucesión natural y fue plantada en 1977.

La plantación de 7 años estuvo diez años bajo sucesión natural y fue establecida en 1983.

La plantación de 2 años estuvo quince años bajo sucesión natural y fue plantada en 1988.

### III. METODOLOGIA:

El reconocimiento de los tres rodales de teca escogidos para este trabajo, se basó inicialmente a partir del mapa base del establecimiento de las plantaciones de la Unidad II de la Reserva Forestal de Ticoporo. Posteriormente mediante recorridos y chequeos en el terreno y tomando como criterio el factor de cobertura, se seleccionaron los rodales de las edades de 2, 7 y 12 años. En el rodal de 2 años la cobertura vegetal dominante consistía en un 95% de gramíneas; en el rodal de 7 años 50% era de gramíneas y el 50% de teca y en el rodal de 12 años el 95% era de teca. Tratando de mantener condiciones edáficas similares, los tres rodales se escogieron en base a una textura de suelo similar.

Por cada rodal se establecieron dos parcelas de 25 X 25 metros, separadas entre sí por una distancia mínima de 5 metros.

Una información detallada de la masa arbórea de las tres edades, puede encontrarse en Benitez (1990).

#### 3.1. Análisis de los suelos

La recolección de las muestras de suelo, se hizo a partir de un muestreo al azar, con un barreno de 7.5 cm. de diámetro, tomando muestras cada 10 cm. hasta los 40 cm. de profundidad. La profundidad máxima se determinó en base a que la mayoría de las raíces se ubican en esos primeros 40 cm. de profundidad. Se tomaron 5 muestras por parcelas, por profundidad y por cada edad.

Para la profundidad de los 10 primeros centímetros (nivel de mayor actividad biológica) se mantuvieron las 5 réplicas por parcela en todos los

parámetros estudiados. Para las profundidades de 10-20 cm. hasta 30-40 cm., se reunieron las réplicas por parcela y por profundidad y se tomaron duplicados por parcela y por edad.

Los métodos utilizados para el análisis de suelo se rigieron por el manual del Tropical Soil Biology and Fertility (Anderson e Ingram, 1989):

\_Textura o distribución del tamaño de las partículas por el método de Bouyoucos.

\_Densidad aparente con muestreador Uhland. La muestra se secó en estufa ventilada a 105°C. por 24 horas y luego se determinó el peso seco.

\_pH en agua (1:3) y con cloruro de potasio (1 N) medidos con un potenciómetro (Fisher 230 A) provisto de un electrodo de vidrio.

\_Carbono orgánico por el método de Walkley-Black modificado, (por oxidación parcial y eliminada la turbidez con cloruro de bario). Se midió por espectrofotometría a 600 nm.

\_Nitrógeno total por el método Kjeldahl.

\_Fósforo total por digestión en mezcla binaria y determinación por el método de Murphy y Raley.

\_Fósforo orgánico determinado por incineración a 550 grados centígrados y por el mismo método anterior.

\_Fósforo disponible mediante extracción con bicarbonato de sodio (pH 8.5) y determinación por el método de Murphy y Raley.

\_Cationes cambiabiles (K, Ca y Mg) extraídos con acetato de amonio (pH 7) y determinados mediante espectrofotometría de absorción atómica.

\_La acidez cambiabie (Al+H) se extrajo con KCl 1M y se tituló (HCl) usando fenolftaleina como indicador.

\_Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) se calculó como la suma de los cationes cambiabiles y la acidez cambiabie.

### 3.2. Análisis de los residuos

La recolección de hojarasca se realizó tanto a finales de la época de lluvia (octubre 89) como a finales de la época seca (Marzo 90).

En cada uno de los dos muestreos se colocaron un total de 60 cuadratas de 0.25 m<sup>2</sup>, repartidas en 10 por cada parcela/edad. El material fue secado en estufa ventilada a 60 grados centígrados por un mínimo de 72 horas.

Posteriormente se procedió a separar las diferentes fracciones (hojas de teca, otras hojas, madera fina, flores, frutos y semillas y misceláneas) para su pesada respectiva.

Finalmente las muestras fueron molidas y analizadas químicamente (nitrógeno total, fósforo total, potasio, calcio y magnesio).

Para el análisis químico se utilizó el muestreo de la época de lluvia (Octubre 89).

### 3.3. Fertilización

En el bioensayo de fertilización se utilizaron cilindros de 10 cm de altura y 7.5 cm de diámetro, elaborados con una malla plástica de polietileno de alta densidad provista de huecos de 4 mm<sup>2</sup> ( Cuevas y Medina 1983). El substrato para su llenado correspondió al suelo de la capa superficial ( 0 a 10 cm de profundidad ) de cada parcela, previo tamizado y limpieza de raíces y restos de material en descomposición. Se establecieron dos tratamientos: control (suelo superficial) y tratamiento (suelo superficial con P). El pH se

mantuvo similar en ambos tratamientos. El P se proporcionó mediante la utilización de fosforita micronizada, originaria de San Pedro del Río, Edo. Táchira. La cantidad de P utilizado equivale a 422.5 Kg/ha. Se colocaron 18 cilindros por parcela y por edad, de los cuales 9 constituían los controles y los restantes los de tratamiento. Los cilindros se colocaron al azar en las respectivas parcelas el 20 de marzo del 90, coincidiendo con el final de la estación seca. Cada cilindro fue insertado con el borde superior a ras del suelo, etiquetado y señalado por una estaca ( a unos 70 cm. de distancia con respecto al Norte ) para su posterior ubicación. Se hicieron tres recolecciones, a los 2, 4 y 6 meses ( 60, 120 y 180 días ), en las cuales se recogieron 3 cilindros por tratamiento, por parcela y por edad. Al extraer los cilindros del suelo, se cortaron las raíces externas que lo rodeaban a fin de obtener únicamente las raíces de su volumen. A continuación se congelaron los cilindros hasta su separación. Este se realizó por lavado en agua, utilizando tamices, de los que luego con la ayuda de una lupa monocular y con pinzas, se colectó cada raíz, raicillas o segmento de ellas, menores de 2 mm. El material fue colocado en estufa ventilada a 60° C durante un mínimo de tres días, luego molida y guardado en seco para su posterior análisis.

#### 3.4. Análisis estadístico

Se analizaron los resultados de las muestras de suelo y de hojarasca mediante el ANOVA de una sola vía, para determinar el efecto entre edades por profundidad.

Las diferencias entre promedios se determinaron mediante el análisis de Scheffe.

Se hicieron análisis de regresión y correlación lineal simple para determinar la relación entre carbono, nitrógeno y fósforo.

En el bioensayo de fertilización se determinó el efecto entre edades, por tratamiento, mediante el ANOVA de una sola vía. Las diferencias entre promedios se determinaron mediante la diferencia mínima significativa (LSD).

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Caracterización de los suelos

#### 4.1.1 Textura:

Este parámetro físico no presentó diferencias significativas entre los suelos de las tres edades, confirmando la homogeneidad edáfica buscada, con el objetivo de poder establecer comparaciones entre las variables químicas a partir de una clase textural relativamente similar. Las muestras analizadas se presentan en la tabla 1 y en la figura 3 se representa su ubicación en el triángulo textural.

De 0-10 cm de profundidad las tres edades presentan una textura franco-limosa. Los porcentajes medios son de 25% de arena, 50% de limo y 25% de arcilla. Las plantaciones de los años 88 y 83, son de texturas casi idénticas, con unas variaciones mínimas de 0,5% de limo y arcilla. La plantación del 78, posee un ligero incremento en el contenido de arena (27,5%) que modifica el porcentaje de arcilla (22,5%) y en menor grado el del limo (50%).

De 10-20 cm profundidad la textura resultante es franco-arcillosa. Las tres edades presentan mayor similitud en el contenido de limo (42,5 y 45,5%); sin embargo, en el contenido de arena, las edades 88 y 78 son idénticas (27,5%), no así la edad 83, con 7,5% menos (20%). Las proporciones de arcilla varían de un 27% (88) hasta un 37,5% (83), pasando por un 30% (78).

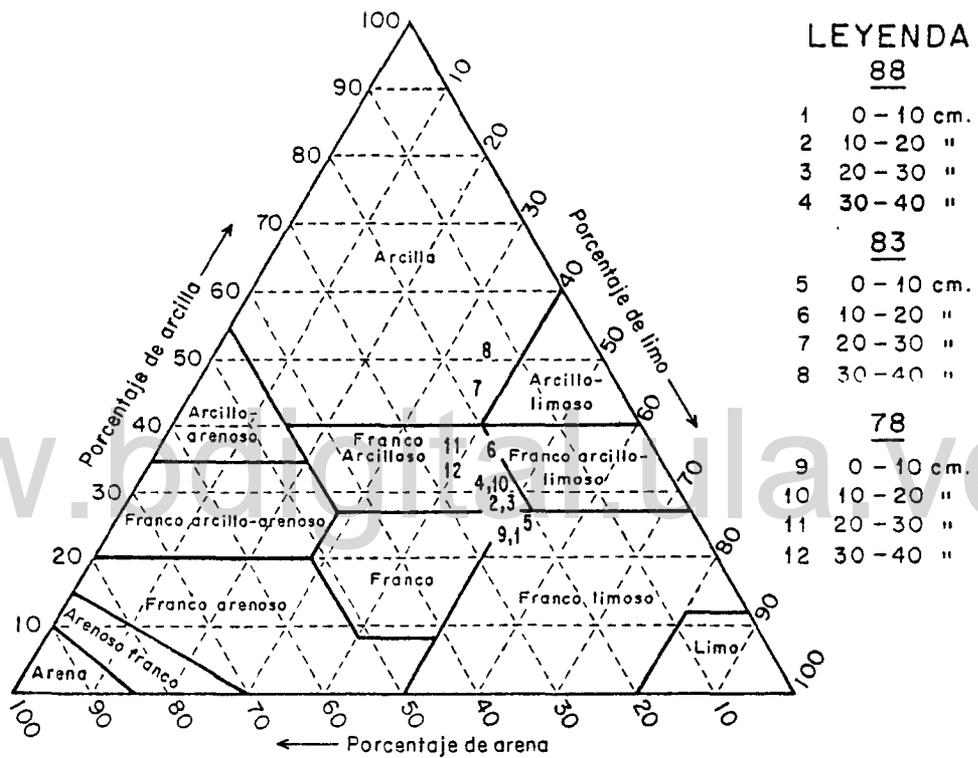


FIGURA 3.

Triángulo de textura, con la ubicación numerada de cada parcela por edad y por profundidad de los tres rodales de teca de 2, 7 y 12 años.

Los últimos 20 cm se mantienen franco-arcillosos para las plantaciones de 2 y 12 años, en tanto que la de 7 años alcanza a ser arcillosa. En esta última la arcilla es de 45 y 50%, mientras que en las otras dos edades, se encuentran 32 y 35% de arcilla. Además, la de 7 años presenta los valores más bajos de arena (20 y 17,5% respecto al 30% y 26%). En cuanto al limo, los mayores valores aparecen en la edad 88 (45%) y menores en las edades 83 y 78 (35%).

#### 4.1.2. Densidad aparente:

Los valores resultantes de esta segunda propiedad física se describen en la tabla 1.

Los resultados demostraron un incremento de la densidad aparente con la profundidad en los diferentes rodales, con una excepción en la plantación de 2 años.

La edad del año 88 presentó una muy ligera variación a lo largo del perfil, con un mínimo de 0,96 g/cm<sup>3</sup> a nivel superficial y un máximo de 1,15 g/cm<sup>3</sup> en el subsiguiente nivel, manteniéndose constante (1,10g/cm<sup>3</sup>) en los dos últimos niveles.

La edad del año 83 presentó valores similares en los primeros 20cm (0,98 y 1,02 g/cm<sup>3</sup>), subiendo luego en 0,33 unidades (1,35 g/cm<sup>3</sup>) en el nivel de los 20 a 30 cm y volver a subir 0,14 unidades (1,49 g/cm<sup>3</sup>) en el último nivel. Es decir que entre las dos profundidades extremas, hay una diferencia de 0,51 g/cm<sup>3</sup>.

La plantación del 78, partió de 1,10 g/cm<sup>3</sup> a nivel superficial para incrementarse en 0,27 unidades en el siguiente nivel y luego se mantiene con valores relativamente similares en los restantes 20 cm.

PLANTACION 88	0-10	10-20	20-30	30-40
% Arena	22.5	27.5	27.5	22.5
% Limo	53.0	45.5	45.5	43.0
% Arcilla	24.5	27.0	27.0	34.5
Textura	F.L.	F.A.	F.A.	F.A.
Dens. apar. g/cm <sup>3</sup>	0.98	1.15	1.11	1.10
pH H <sub>2</sub> O (1:3)	5.35	5.19	5.26	5.18
pH Kcl (1 N)	4.45	4.12	4.04	4.15

PLANTACION 83	0-10	10-20	20-30	30-40
% Arena	22.5	20.0	20.0	17.5
% Limo	52.5	42.5	35.0	32.5
% Arcilla	25.0	37.5	45.0	50.0
Textura	F.L.	F.A.	A.	A.
Dens. apar g/cm <sup>3</sup>	0.98	1.02	1.35	1.49
pH H <sub>2</sub> O (1:3)	5.36	5.40	5.29	5.17
pH Kcl (1 N)	4.29	4.26	4.27	4.18

PLANTACION 78	0-10	10-20	20-30	30-40
% Arena	27.5	27.5	30.0	30.0
% Limo	50.0	42.5	32.5	35.0
% Arcilla	22.5	30.0	37.5	35.0
Textura	F.L.	F.A.	F.A.	F.A.
Dens. apar. g/cm <sup>3</sup>	1.10	1.37	1.42	1.45
pH H <sub>2</sub> O (1:3)	5.29	5.26	5.26	5.24
pH Kcl (1 N)	4.47	4.40	4.39	4.50

TABLA 1  
 VALORES (MEDIAS) DE TEXTURA, DENSIDAD APARENTE Y pH  
 EN LAS PLANTACIONES DE TECA DE LOS AÑOS 88, 83 Y 78

#### 4.1.3. pH:

En general los valores indican que estos suelos tienen la tendencia de ser medianamente ácidos a lo largo del perfil (tabla 1).

No se presentaron diferencias significativas entre las edades.

En general hay una ligera tendencia a la disminución del pH con la profundidad.

Existe una diferencia (de 0,17 unidades), entre el nivel superficial (0-10 cm) y el de mayor profundidad (30-40cm), en los dos rodales de menor edad. En tanto que el rodal del año 78, el pH se mantiene con una relativa estabilidad, variando tan solo de 0,05 unidades con la profundidad.

Los valores de pH medidos con cloruro de potasio (KCl), son en todos los casos inferiores a los medidos en solución acuosa. Las diferencias oscilan entre 0.85 y 1.10 unidades, por lo que esta acidez potencial puede clasificarse de mediana a alta.

#### 4.1.4. Carbono Orgánico:

La distribución del porcentaje de carbono orgánico en función de la profundidad es similar en las tres edades (figura 4 a). Los contenidos son altos en los primeros 10 cm (88: 3.78%[0.23]; 83: 2.74[0.13]; y 78:3.90%[0.14]) luego hay una disminución marcada en el subsiguiente nivel (88: 2.52%[0.23]; 83: 1.92%[0.10] y 78:2.92%[0.11]) y de allí hasta los últimos 20 cm se presenta una disminución gradual(88:1.93%[0.23]; 83:1.59%[0.10] y 78:2.20%[0.14]).

En las plantaciones del 88 y del 78, los porcentajes son mayores en comparación con la plantación de edad intermedia. Es decir la secuencia se

inicia con valores altos en la edad más joven luego desciende en la edad intermedia y termina con un nuevo ascenso cuando la plantación alcanza los 12 años.

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre las dos edades extremas, pero si respecto a la edad de 7 años (83 vs 78). Esto indica que la relación carbono-edad no es progresiva sino irregular, conforme evoluciona la plantación.

En el rodal de 12 años, los contenidos de carbono orgánico se mantienen relativamente altos a lo largo del perfil muestreado. Los niveles más profundos (20-40 cm) tienen valores muy parecidos (2.59% y 2.20%) a los niveles superficiales (2.74% y 2.52%) de los otros rodales. El rodal de 7 años por debajo de los 10 cm de profundidad, presenta un porcentaje de carbono orgánico inferior al 2%, en tanto que esto sólo se presentó en el último nivel del rodal de 2 años (1.93% [0.27]). Respecto a este rodal de 2 años, se destaca una diferencia de 1.26 % entre el nivel superficial y el subsiguiente (3.78%[0.85] a 2.52%[0.65]).

#### 4.1.5. Nitrógeno:

El mayor porcentaje de nitrógeno se encuentra concentrado a nivel de la superficie del suelo (figura 4 b). El mayor valor se encontró bajo la plantación del 78 (0.19%), aunque no fue estadísticamente diferente con la plantación del 88 (0.16%). Se presentaron diferencias significativas, tanto con el rodal del 88 como con el rodal del 78, en la plantación del año 83 (0.13%).

Los valores de nitrógeno pueden considerarse bajos para las tres edades (ver anexo 1).

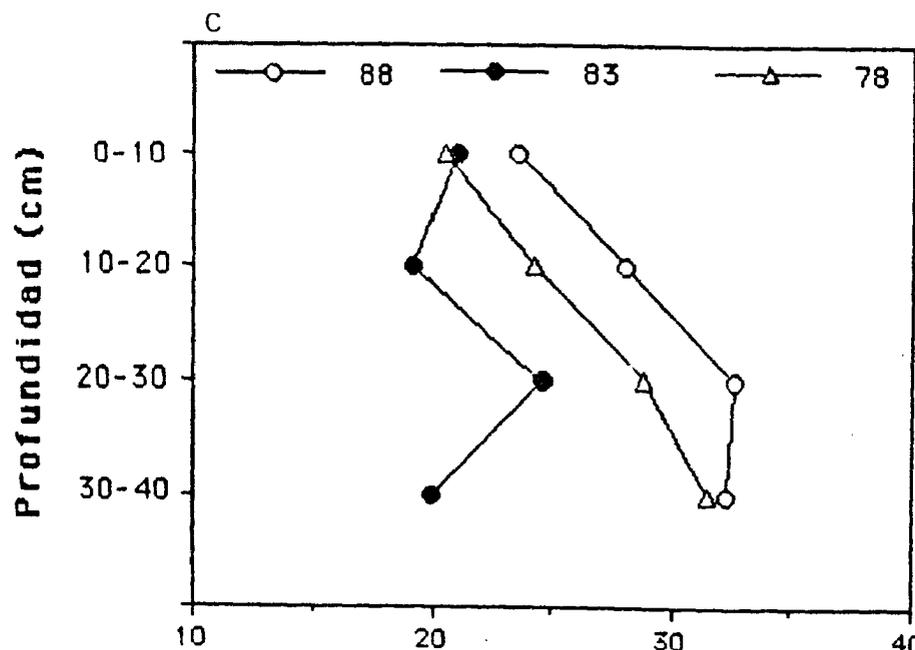
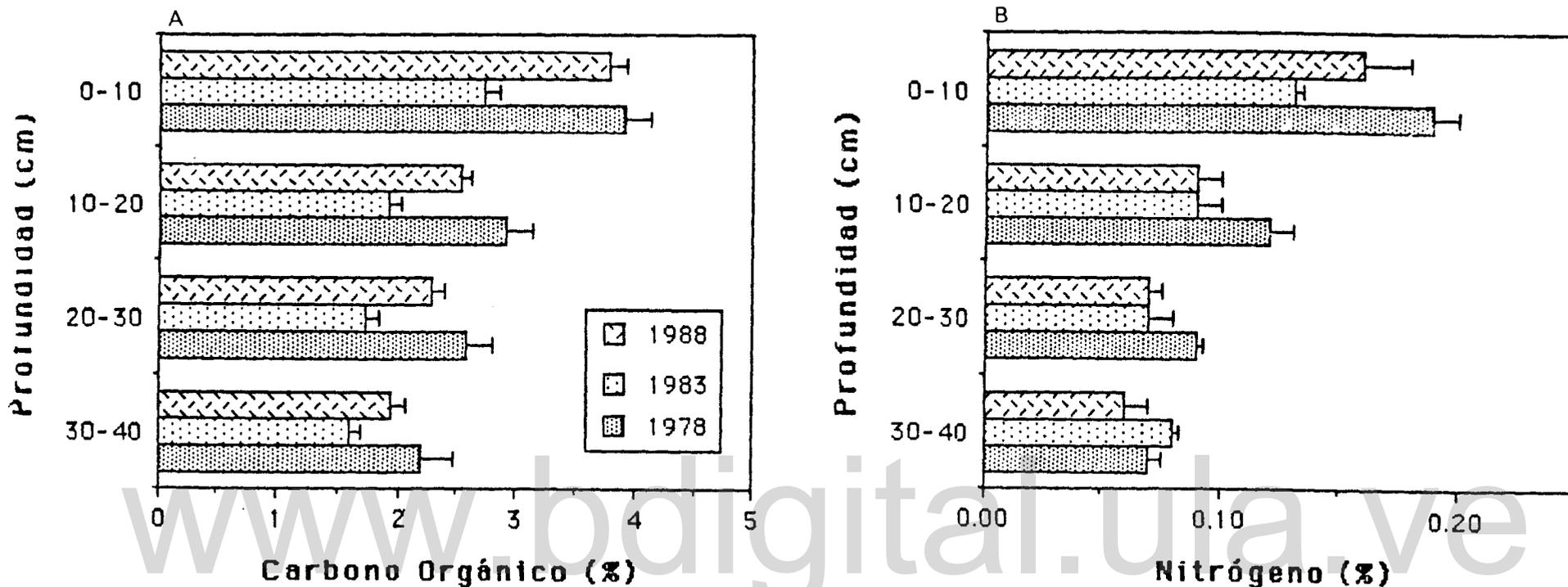


Figura.4  
 Promedio y error standard de carbono orgánico, nitrógeno total y relación C/N por profundidad de los tres rodales de te de 2, 6 y 12 años de plantados.  
 a- Carbono orgánico  
 b- Nitrógeno total  
 c- Relación Carbono/Nitrógeno

El nivel subsuperficial (10-20cm) presentó una disminución de 0.07% en las plantaciones de 2 y 12 años y de 0.05% para la de 7 años. A partir de ese nivel la disminución es más atenuada e incluso permanece constante (88:0.07%).

En la plantación de 12 años, el nitrógeno disminuyó en forma más gradual con la profundidad en relación con las otras dos edades. Sólo la de 2 años presentó una marcada diferencia (de 0.16% a 0.09%) entre los 10 y 20 cm.

#### 4.1.6. Relación Carbono/Nitrógeno:

Tomando como referencia la tabla de valores para la interpretación de análisis de suelos (anexo 1), las relaciones C/N resultaron ser altas para las tres edades (figura 4 c) .

Este cociente guarda una relación con los bajos contenidos de nitrógeno y así mismo tiene correspondencia con los altos valores de carbono.

No se presentaron diferencias significativas, sin embargo se observan diferentes tendencias entre las edades a lo largo del perfil.

Los rodales de los años 78 y 88 mostraron una tendencia progresiva de empobrecimiento en calidad a través de las cuatro profundidades, manteniendo un comportamiento similar a lo largo del perfil.

El rodal del año 83 mantuvo aproximadamente la misma proporción carbono/nitrógeno en las diferentes profundidades.

El rodal de 2 años presentó en los tres primeros niveles, los valores más altos (26.63-28.00-32.57), siendo este último el más elevado de todos los puntos muestreados.

El rodal de 7 años, presentó los menores valores con una media de 20,48 (+-2.40), manteniendolos a lo largo del perfil. El nivel superficial presentó el valor más bajo (18.27) en comparación con el rodal de 2 años (26.63) y el de 12 años (20.53).

En el rodal de 12 años se obtuvo la diferencia de mayor amplitud (10.90 unidades) entre el punto más superficial y el de mayor profundidad.

#### 4.1.7. Fósforo:

En la figura 5 pueden observarse los diferentes comportamientos del fósforo total, orgánico y disponible.

El fósforo total presenta los mayores valores a nivel superficial en los rodales de 2 y 12 años, en tanto que el rodal de 7 años, presenta un valor ligeramente más bajo (36.17; 36.57 y 25.31 mg/100g respectivamente). Según el análisis de varianza, se obtuvieron diferencias significativas, sólo en los primeros 10 cm entre las plantaciones de los años 88 y 83, y 83 y 78. En la gráfica correspondiente puede observarse una tendencia similar entre las edades del 78 y 88. La diferencia entre ambas (aunque no significativa), puede observarse por los valores en los últimos 20 cm (88: 15.86 y 14.04 mg/100g; 78:24.49 y 23.13 mg/100g).

El mayor descenso se observa en el rodal de 2 años entre los 10 y 20 cm de profundidad. Desde el nivel de los 10-20 cm y hasta los 40 cm la plantación de 7 años mantiene un valor promedio de 19.33mg/100g con una desviación de sólo 0.43mg/100g. En tanto en las otras dos edades el contenido de fósforo total decrece con la profundidad.

El fósforo orgánico adquiere valores muy cercanos al total, con un porcentaje promedio de un 73% para las tres edades.

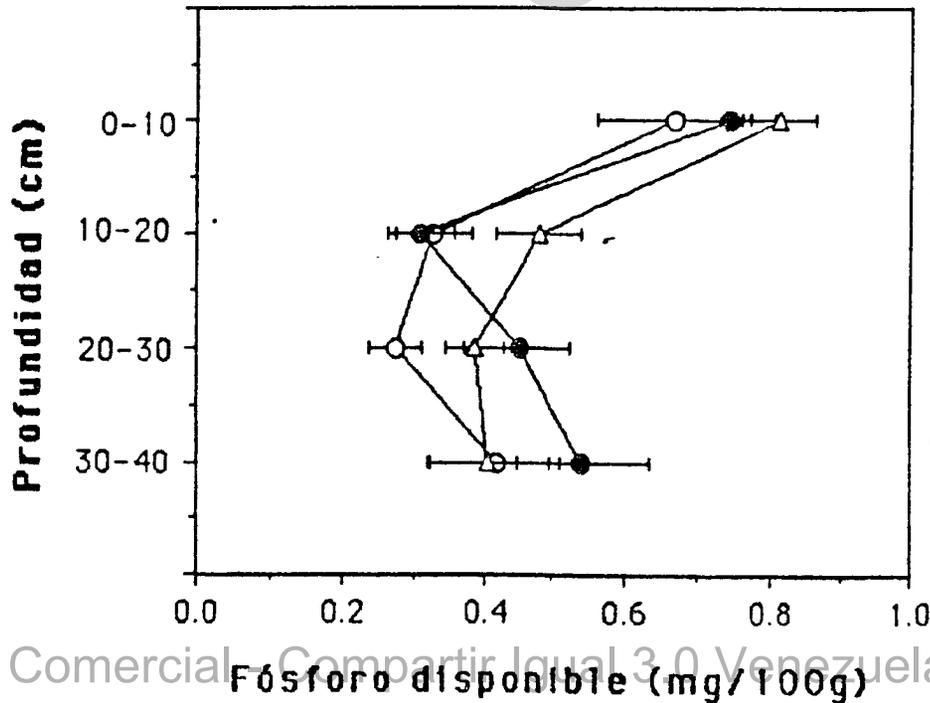
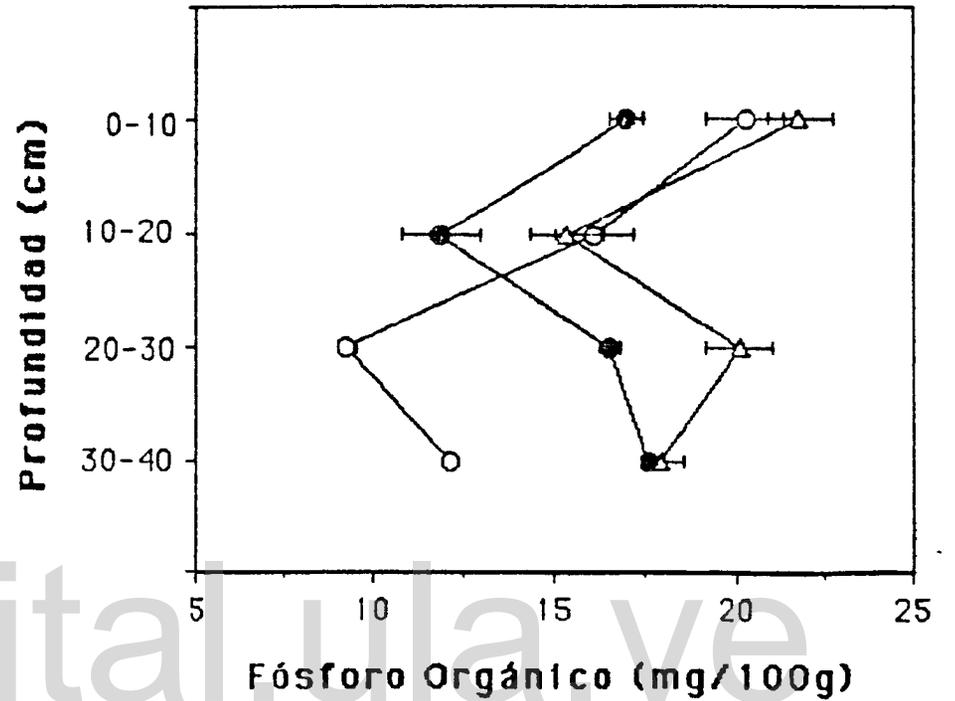
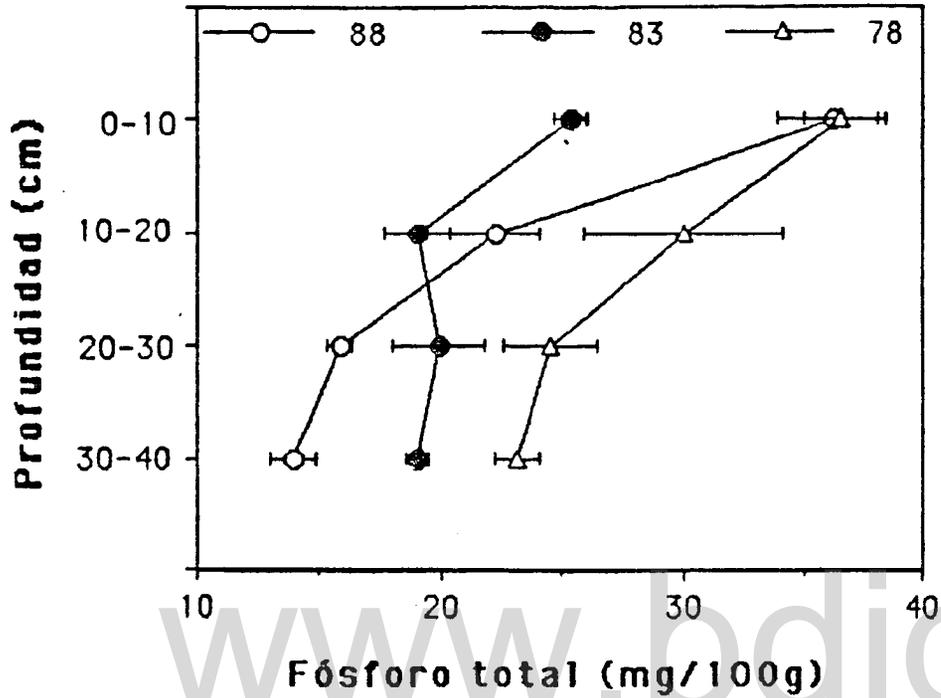
Las plantaciones de los años 83 y 78, tienen un comportamiento similar a través de la profundidad, llegando incluso a un valor parecido (17.6 y 17.9 mg/100g) entre los 30 y 40 cm. Sin embargo, es en los primeros 10 cm cuando el análisis de varianza mostró una diferencia significativa entre esas dos edades.

La plantación más joven, mostró los valores más bajos en los últimos 20 cm (9.25 y 12.4 mg/100g), respecto al promedio (18.02 mg/100g [ds 1.30]) de las otras dos edades.

El fósforo disponible presentó valores inferiores a la unidad en las tres edades (menores de 0.8 mg/100g).

El comportamiento es similar y sin diferencias significativas a lo largo de las profundidades en las tres plantaciones.

Los mayores valores se concentran a nivel superficial y descienden ampliamente en  $\pm 0.35$  mg/100g entre los 10 y 20 cm.



**Figura.5**  
 Fraccionamiento parcial y error standard de fósforo en el suelo de tres rodales de teca de 2, 6 y 12 años de plantados.  
 a- Fósforo total (mg/100g)  
 b- Fósforo orgánico (mg/100g)  
 c- Fósforo disponible (mg/100g)

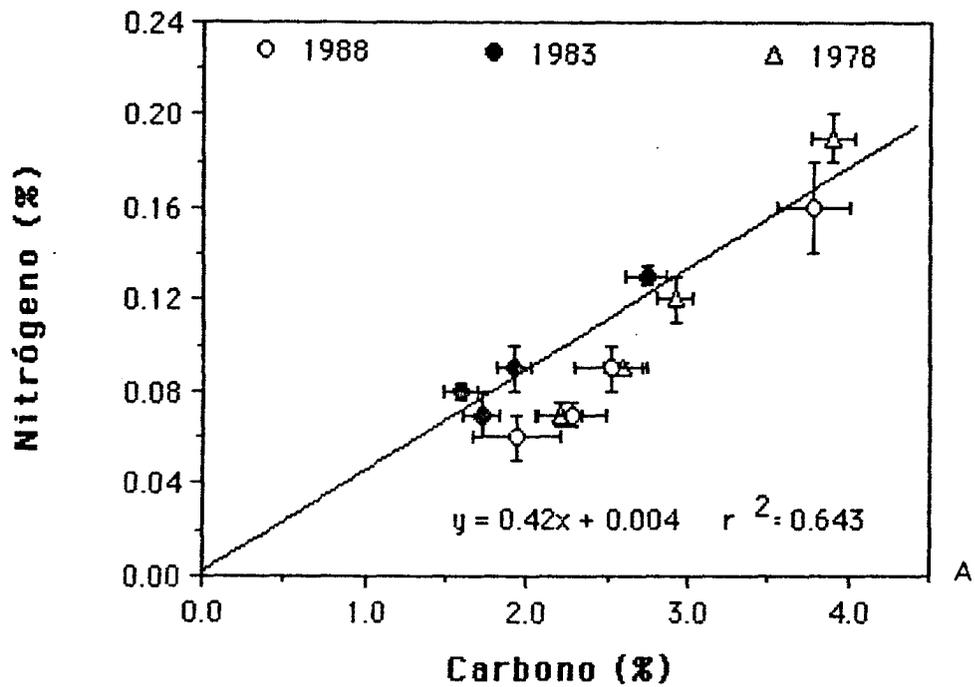
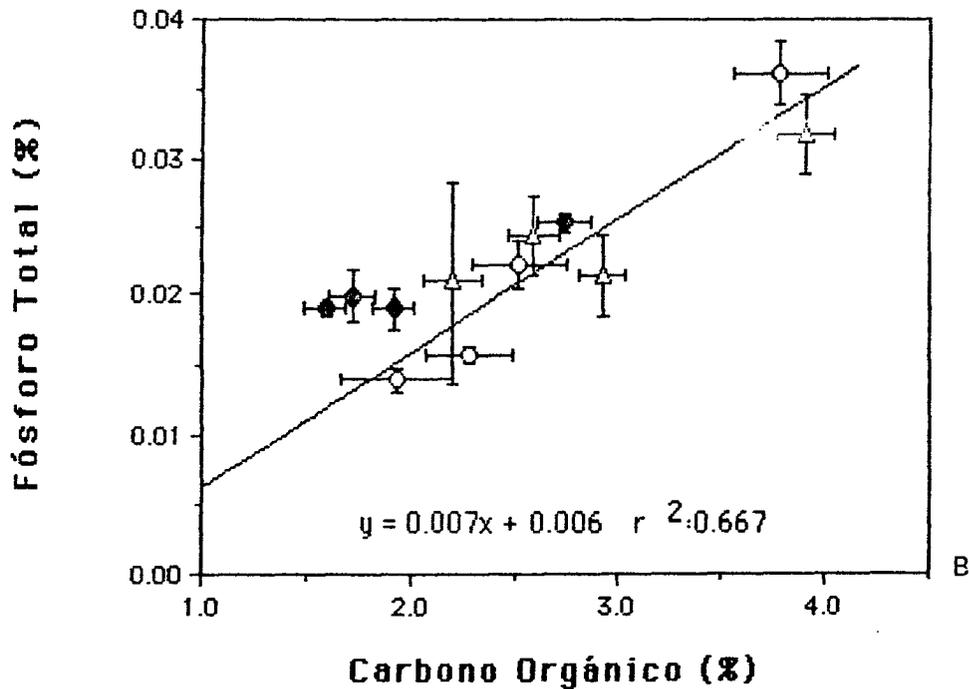


Figura.6

Relación entre el contenido de  
 a) carbono y nitrógeno b) carbono orgánico y fósforo total  
 en el suelo de tres rodales de teca de 2, 6 y 12 años



#### 4.1.8. Potasio:

Los resultados del potasio muestran una tendencia a la baja conforme aumenta la edad de la plantación, aunque el descenso se hace más pronunciado en los primeros 20 cm. y luego tiende a ser similar o estabilizarse en los últimos centímetros de profundidad (figura.7 a).

No se presentaron diferencias significativas entre edades.

El rodal del 88 mostró una disminución marcada de 0.124 meq/100g (+- 0.045) entre los primeros 10 cm y los 10 siguientes.

El rodal del 83 marcó igualmente, tanto una disminución entre los niveles sub y superficiales, aunque con una diferencia menos marcada (0.066 unidades), así como un incremento (0.022 unidades) que lo sitúa en 0.227 meq/100g. De allí, desciende hasta los 0.177 meq/100g.

El rodal del 78 presentó la variación más baja (sólo 0.073 unidades) entre los primeros 0-10 cm y los últimos 30-40 cm. Es decir no hubo una diferencia acentuada entre el nivel superficial y el más profundo, además mostró un descenso gradual de 0.035 unidades entre los dos niveles intermedios, estabilizándose a los 20 y 30 cm con una media de 0.113 meq/100g (+-0.002).

En general, en el perfil de esta edad (78) se obtuvieron los valores más bajos (0.560 meq/100g) de este elemento ( el rodal de 2 años acumuló un poco más o menos del doble: 1.026 meq/100g).

Según la tabla de interpretación, los valores pueden calificarse como bajos (año 88 y 83) a muy bajos (año 78). La excepción la constituye el punto más superficial de la plantación 88 (0.341 meq/100g) que es catalogado como un valor mediano.

#### 4.1.9. Calcio:

El análisis de varianza reveló diferencias muy significativas para el calcio, con respecto a la plantación del 78 y la del 88. Aquí los resultados muestran un comportamiento opuesto al potasio (figura. 7 b), en el sentido de que el calcio muestra una tendencia a aumentar conforme progresa la edad de la plantación.

En todas las edades, los valores disminuyen con la profundidad y los valores se ubican de medianos a bajos (año 78) y bajos a muy bajos (años 88 y 83).

La plantación del 88, tal como se dijo anteriormente, presentó los valores más bajos, sin embargo luego de un desfase de 1.381 unidades entre los niveles sub y superficiales, los restantes niveles presentaron una media de 1.304 meq/100g con una desviación standard de sólo 0.172 unidades.

La plantación del 83, mostró un descenso muy gradual con la profundidad, presentando los valores más bajos tanto en el nivel superficial (3.187  $\pm$  0.807 meq/100g) como en el más profundo (1.092  $\pm$  0.063 meq/100g).

En la plantación del 78 se obtuvo el mayor descenso entre los niveles sub y superficiales (2.405 unidades). En esta edad cada nivel se caracteriza por poseer un rango de valor bien definido con al menos 0.5 unidades de diferencia respecto a su nivel más cercano. El punto más extremo en profundidad (2.042 meq/100g  $\pm$  0.188) supera el mismo nivel e incluso los tres y dos últimos niveles de los rodales de los años 88 y 83 respectivamente.

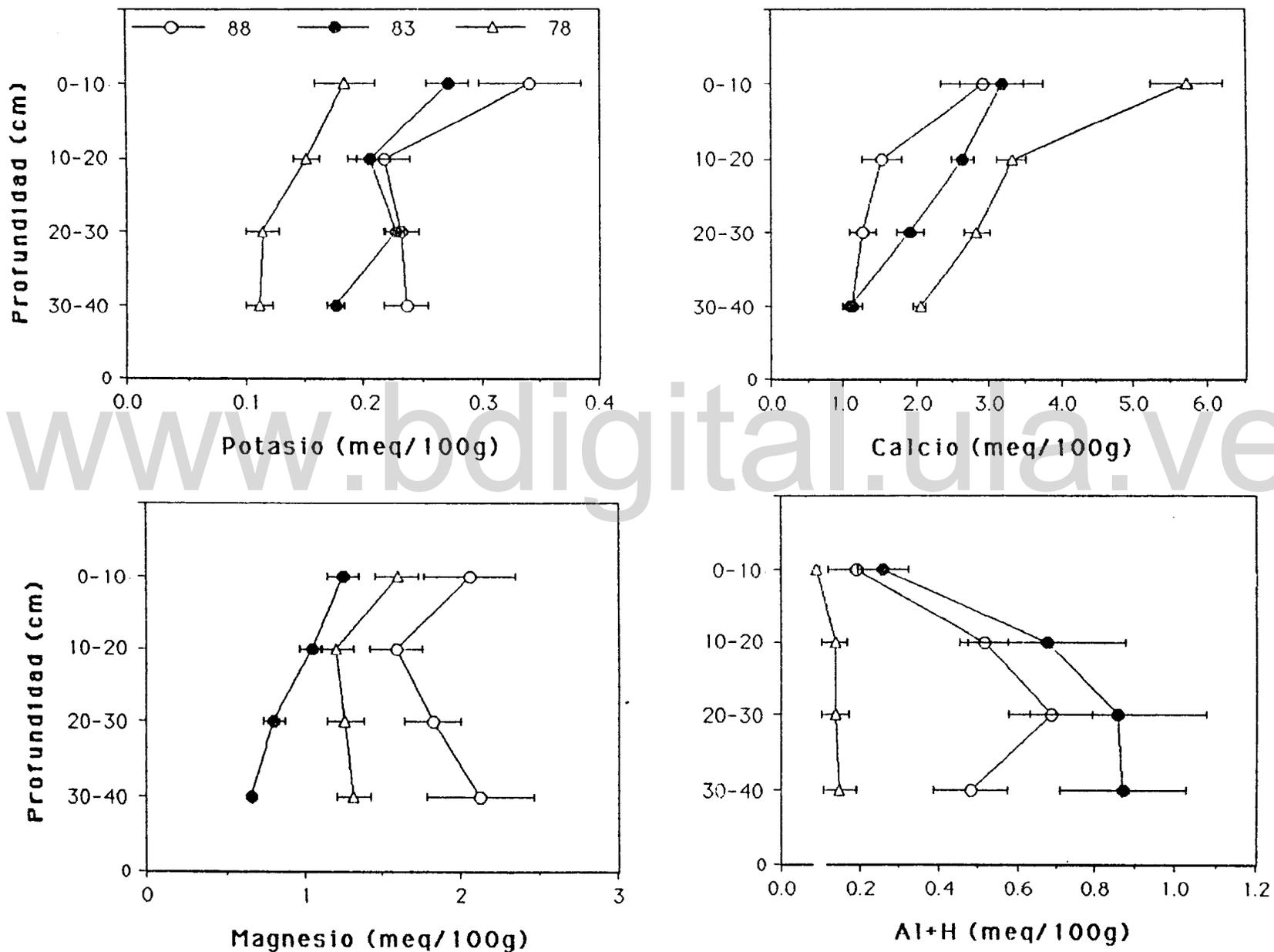


Figura.7. Cationes cambiables (mg/100 g) por profundidad y por edad en tres rodales de teca de 2, 6 y 12 años de plantados

a) Potasio b) Calcio c) Magnesio d) Al + H

#### 4.1.10. Magnesio:

Con respecto a este elemento, destaca el comportamiento de la plantación del año 78 donde sus valores se ubican en una posición intermedia entre las plantaciones de los años 88 y 83 (figura 7 c). Es decir en los perfiles estudiados no se manifiesta una gradación de este elemento respecto a la edad.

Se presentaron diferencias significativas en los primeros 10 cm entre las plantaciones de los años 88 y 83, y 83 y 78.

Por otra parte, la única edad que mostró un descenso proporcional con la profundidad fue la del año 83. En tanto que las edades del 88 y 78 mostraron un aumento significativo después de los 20 cm, para volver a ubicarse muy cercanamente al valor del nivel superficial (año 88: 0-10cm 2.055 a 30-40cm 2.124 meq/100g y 78: 0-10cm 1.591 a 30-40cm 1.321 meq/100g).

Los valores se sitúan en un rango de mediano (1-3 meq/100g) para las tres edades, con excepción de los dos últimos niveles de la plantación del 83 que están por debajo de 1 (0.804 y 0.656 meq/100g).

#### 4.1.11. Acidez cambiante:

La proporción de aluminio e hidrógeno cambiante mostró igualmente un comportamiento variable entre las tres edades (figura 7 d). No obstante, no se presentaron diferencias significativas entre edades.

Las parcelas de los años 83 y 88 se comportan en forma similar a lo largo del perfil.

En este caso la plantación de edad intermedia se desplaza hacia un lado presentando los mayores valores a lo largo del perfil, aparte de mostrar una diferencia bien marcada (de 0.611 unidades) entre los dos niveles extremos (0.260 y 0.871 meq/100g).

El rodal del 78, mostró una tendencia uniforme a lo largo del perfil. Sus valores arrojaron una media de 0.128 meq/100g en el perfil muestreado con una muy ligera desviación standard (+- 0.022). En esta plantación se obtuvieron los valores más bajos en todos los niveles respecto a las otras dos plantaciones y el nivel superficial se sitúa por debajo de 0.1 unidades (0.091 meq/100g +-0.018) respecto a la plantación del 88.

#### 4.1.12. Capacidad Efectiva de Intercambio Catiónico

En el siguiente cuadro se resume los valores (meq/100g) de la CEIC.

Edad	0-10 cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm
2	5.501	3.856	3.998	3.961
7	4.966	4.570	3.806	2.796
12	7.600	4.827	4.355	3.623

Los mayores valores se presentan en la plantación de mayor edad. Por otra parte la plantación más joven mostró un valor relativamente alto sólo en los primeros 10 cm para luego mantenerse relativamente constante.

La plantación de edad intermedia mostró un descenso progresivo con la profundidad, alcanzando el valor más bajo en los últimos 40 cm en comparación con las otras edades.

#### 4.1.13. Cantidades totales:

A partir de los valores resultantes de la densidad aparente y sus respectivos porcentajes de nutrientes, es posible obtener la cantidad de nutrientes en kg/ha de cada profundidad y del total del perfil muestreado (0-40 cm). Esto permite ver con mayor claridad la variación en la cantidad de nutrientes según aumenta la edad de la plantación.

En la tabla 2, se representan las cantidades (medias y desviaciones standard) de carbono, nitrógeno y fósforo (total, orgánico, disponible) así como en la tabla 3 las cantidades de potasio, calcio y magnesio de las tres plantaciones.

El carbono orgánico mostró diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre cada una de los totales de las tres plantaciones estudiadas. Igualmente se presentaron diferencias significativas entre las tres edades y en cada una de todas las profundidades, a excepción de las dos últimas profundidades, entre los años 88 vs 83.

Los mayores valores se obtuvieron en la plantación de 12 años a todo lo largo del perfil muestreado. El total supera en un 36% y 62% el valor de las plantaciones del 88 y 83, respectivamente.

La cantidad obtenida en el tercer nivel de esta plantación adulta, supera levemente el valor de los primeros diez centímetros de la plantación recién establecida. Tanto esta última plantación de 2 años como la de edad intermedia, concentran su mayor valor en los primeros diez centímetros, con una diferencia aproximada de 7300 kg/ha respecto al subsiguiente nivel. El promedio más bajo, del perfil muestreado, es el reportado por el de la plantación intermedia (19564 kg/ha  $\{ \pm \text{s.e. } 1010 \}$ ). A diferencia de las otras

dos edades, ésta (año 83) se destaca por presentar un descenso marcado entre los primeros veinte centímetros de profundidad, sin embargo se presenta un leve ascenso que se estabiliza en los últimos dos niveles muestreados.

El nitrógeno no presentó diferencias significativas entre los rodales del 88 y del 83, en los primeros cuarenta centímetros, y el total de sus valores no difiere en más de 370 kg/ha. En tanto, la diferencia se hace mayor (83: 1632 kg/ha y 88: 2002 kg/ha) con relación al rodal del año 78, en los cuarenta centímetros muestreados, lo que origina que se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre esas dos primeras edades y la última edad. Sin embargo, en los últimos veinte centímetros, no se presentan diferencias significativas entre los años 83 y 78 e igualmente en los últimos diez centímetros de profundidad no hay diferencias entre los años 88 y 78.

El rodal de 12 años presenta un descenso gradual con la profundidad, en tanto el rodal de 2 años concentra el mayor valor en los primeros diez centímetros y los últimos veinte centímetros son relativamente similares. El rodal intermedio presenta un descenso leve (359 kg/ha) entre los diez y veinte primeros centímetros, manteniéndose estable entre el segundo y tercer nivel (10-20 cm. y 20-30 cm.) y presentando un aumento (173 kg/ha) en los últimos diez centímetros.

Los valores de fósforo total también presentan un aumento en la cantidad total del perfil según aumenta la edad. No obstante, se debe señalar, que el valor total del perfil muestreado del rodal recién establecido, supera en 50 kg/ha al rodal de edad intermedia. Ello se refleja en el análisis estadístico en la que se presentaron diferencias significativas entre las plantaciones de 2 y 6 años respecto a la plantación de 12 años.

CARBONO ORGANICO:

Profun'	1988	1983	1978
0-10	36.278 ± 2.586 (A)	26.891 ± 1.280 (B)	42.856 ± 1.558 (C)
10-20	28.969 ± 2.370 (A)	19.564 ± 1.010 (B)	40.018 ± 1.619 (C)
20-30	25.275 ± 2.579 (A)	23.247 ± 1.512 (A)	36.821 ± 1.638 (B)
30-40	21.186 ± 1.286 (A)	23.646 ± 1.470 (A)	31.871 ± 2.051 (B)
Total:	111.708 ± 7.087 (A)	93.348 ± 2.980 (B)	151.566 ± 6.088 (C)

NITROGENO:

Profun'	1988	1983	1978
0-10	1.498 ± 148 (A)	1.303 ± 44 (A)	2.112 ± 112 (B)
10-20	978 ± 110 (A)	944 ± 64 (A)	1.644 ± 79 (B)
20-30	749 ± 53 (A)	945 ± 78 (AB)	1.207 ± 41 (B)
30-40	715 ± 55 (A)	1.118 ± 42 (B)	979 ± 69 (AB)
Total:	3.940 ± 1.425(A)	4.310 ± 1.329(A)	5.942 ± 1.853(B)

FOSFORO:

	1988	1983	1978
total			
0-10	362 ± 23 (A)	253 ± 7 (B)	366 ± 16 (A)
10-20	222 ± 18 (A)	190 ± 14 (A)	299 ± 42 (B)
20-30	159 ± 5 (A)	200 ± 19 (AB)	245 ± 19 (B)
30-40	140 ± 9 (A)	190 ± 4 (AB)	231 ± 9 (B)
Total:	883 ± 27 (A)	833 ± 34 (A)	1.141 ± 67 (B)
organico			
0-10	202 ± 11 (A)	169 ± 5 (B)	218 ± 9 (A)
10-20	160 ± 11 (A)	119 ± 11 (B)	153 ± 10 (A)
20-30	93 ± 3 (A)	164 ± 3 (B)	201 ± 9 (C)
30-40	121 ± 2 (A)	176 ± 3 (B)	179 ± 6 (B)
Total:	576 ± 30 (A)	628 ± 53 (A)	751 ± 15 (B)
bicarbonato			
0-10	6.7 ± 1.0 (A)	7.4 ± 0.6 (B)	8.1 ± 0.5(AB)
10-20	3.3 ± 0.5 (A)	3.1 ± 0.5 (B)	4.8 ± 0.6(AB)
20-30	2.8 ± 0.4 (A)	4.5 ± 0.8 (B)	3.9 ± 0.4(AB)
30-40	4.2 ± 0.9 (A)	5.4 ± 0.9 (B)	4.1 ± 0.9(AB)
Total:	17.0 ± 0.9 (A)	20.4 ± 0.8 (A)	20.9 ± 1.8 (A)

CANTIDADES TOTALES EN SUELO (Kg/ha) (media ± s.e)  
 (Letras diferentes indican diferencias significativas a p<0.5 entre edad)

TABLA 2

En los primeros 10 centímetros las cantidades son similares entre las plantaciones de 2 y 12 años. Sin embargo entre los 10 y 40 centímetros de profundidad la plantación de 12 años tiene una cantidad significativamente ( $p \leq 0.05$ ) mayor que la plantación de 2 años.

Por otro lado, la plantación intermedia presentó diferencias significativas en el nivel superficial con las dos anteriores plantaciones, dado que su valor difiere en más de 100 kg/ha respecto a estas. Entre las plantaciones de 2 y 7 años no se presentaron diferencias significativas en las demás profundidades. El rodal del año 88, concentró el 66 % de su valor total en los primeros veinte centímetros, sin embargo, un 41 % se ubicó en el primer nivel y un 25 % en el segundo nivel. Con relación a la plantación de doce años, esta presentó un descenso relativamente gradual con la profundidad, no obstante las diferencias se hacen menos acentuadas en los últimos veinte centímetros de la sección del perfil analizado. Las cantidades totales del perfil entre la plantación recién establecida y la intermedia son similares, mostrando un promedio aproximado de 275 kg/ha con la plantación de mayor edad.

El fósforo orgánico guarda una proporción respecto al fósforo total con valores de un 58 %, 70 % y 66 % para las plantaciones de 2, 7 y 12 años respectivamente. La suma total de las cuatro profundidades aumenta de la plantación más joven a las más adulta. Al igual que el fósforo total, se presentaron diferencias significativas entre las edades de 2 y 6 años respecto a la de 12 años.

La plantación de 2 años concentra el 63 % de su valor en los primeros veinte centímetros. Esta edad y la de 7 años, presentaron entre ellas diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en todas las profundidades. La plantación de 12 años, no presentó diferencias significativas respecto a la de 2 años en

los primeros veinte centímetros, en tanto si se presentaron en los últimos veinte centímetros. La plantación de edad intermedia obtuvo diferencias significativas en los primeros tres niveles de profundidad con respecto a las otras plantaciones.

El fósforo disponible aumenta, al igual que el fósforo orgánico, desde la plantación más joven a la más adulta, sin embargo, no se presentaron diferencias significativas entre las tres edades.

Los tres rodales se caracterizan por presentar un descenso, de más del doble, entre el primer y segundo nivel de profundidad. El rodal de 12 años mostró poca variación en sus valores en los últimos treinta centímetros. El análisis de varianza no reflejó ninguna diferencia significativa entre cada una de las cuatro diferentes profundidades de las tres plantaciones respectivas.

El potasio indica que no hay diferencias significativas entre la plantación recién establecida y la intermedia en los valores totales del perfil. Por el contrario entre esas plantaciones y la de mayor edad se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

Por otra parte el potasio presentó el mayor valor en los dos primeros niveles superficiales (0-20 cm.) de la plantación del año 88 respecto a los años 83 y 78, sin embargo, no se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre éstas, a excepción de los últimos diez centímetros (88 vs 83) y los primeros diez centímetros (88 vs 78). El menor valor total fue dado por la plantación de 12 años, con una disminución gradual a lo largo de los primeros treinta centímetros del perfil muestreado y con valores muy similares en los últimos diez centímetros. Considerando que se produjo un fuerte incremento en

POTASIO:

Profundidad	1988	1983	1978
0-10	128 ± 16 (A)	103 ± 7 (AB)	79 ± 11 (B)
10-20	97 ± 12 (A)	81 ± 8 (A)	81 ± 7 (A)
20-30	100 ± 8 (A)	119 ± 5 (A)	64 ± 10 (A)
30-40	101 ± 9 (A)	160 ± 58 (B)	63 ± 8 (A)
Total:	426 ± 25 (A)	463 ± 58 (A)	287 ± 9 (B)

CALCIO:

Profundidad	1988	1983	1978
0-10	560 ± 117 (A)	735 ± 121 (A)	1262 ± 112 (B)
10-20	353 ± 76 (A)	538 ± 37 (AB)	912 ± 66 (B)
20-30	280 ± 47 (A)	518 ± 54 (AB)	806 ± 59 (B)
30-40	246 ± 35 (A)	325 ± 11 (A)	592 ± 31 (A)
Total:	1439 ± 157 (A)	2116 ± 67 (B)	3572 ± 154 (C)

MAGNESIO

Profundidad	1988	1983	1978
0-10	236 ± 35 (A)	147 ± 12 (B)	210 ± 19 (A)
10-20	219 ± 27 (A)	128 ± 10 (A)	199 ± 20 (A)
20-30	242 ± 28 (A)	130 ± 14 (B)	216 ± 26 (AB)
30-40	314 ± 52 (A)	117 ± 4 (B)	230 ± 20 (A)
Total:	1011 ± 105 (A)	522 ± 18 (B)	855 ± 63 (A)

CANTIDADES TOTALES EN SUELO (kg/ha) (medias ± s.e.)  
 Letras diferentes indican diferencias significativas a  $p < 0.05$  entre edad

TABLA 3

el último nivel, la plantación intermedia presentó el mayor valor respecto a los otras dos plantaciones.

El calcio presentó el mayor valor total en la plantación de mayor edad, superando en 248% la plantación de 2 años y en 147% la de 7 años. Estadísticamente se presentaron diferencias significativas entre todas las edades, respecto a la totalidad del perfil muestreado.

Con relación a los sub-niveles, entre las edades 88 vs 78 se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los primeros 30 centímetros de profundidad muestreados, en tanto no se presentaron diferencias significativas entre las edades 88 vs 83, en todas las profundidades. Entre los años 83 y 78, sólo se presentaron diferencias significativas en los primeros diez centímetros de profundidad.

El magnesio presentó el mayor valor total del perfil muestreado en la plantación de 2 años precedido por la de 12 años y la de 7 años.

El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre las plantaciones de 2 y 7 años, así como entre las de 7 y 12 años. Puede notarse que el rodal del año 83 es inferior en 489 kg/ha respecto al rodal del año 88. Sin embargo, no hubo una marcada significación estadística ( $p \leq 0.05$ ) entre las edades de 2 y 12 años, en todas las profundidades, en cambio si hubo diferencias entre la de 2 y 7 años, excepto para el nivel de 10-20 centímetros. Tanto en las edades de 2 y 12 años, se obtuvo un incremento de los valores en los últimos veinte centímetros muestreados. El rodal intermedio presento valores muy similares a lo largo del perfil con una media de 130.5 kg/ha y un error standard de tan sólo 5.37 kg/ha.

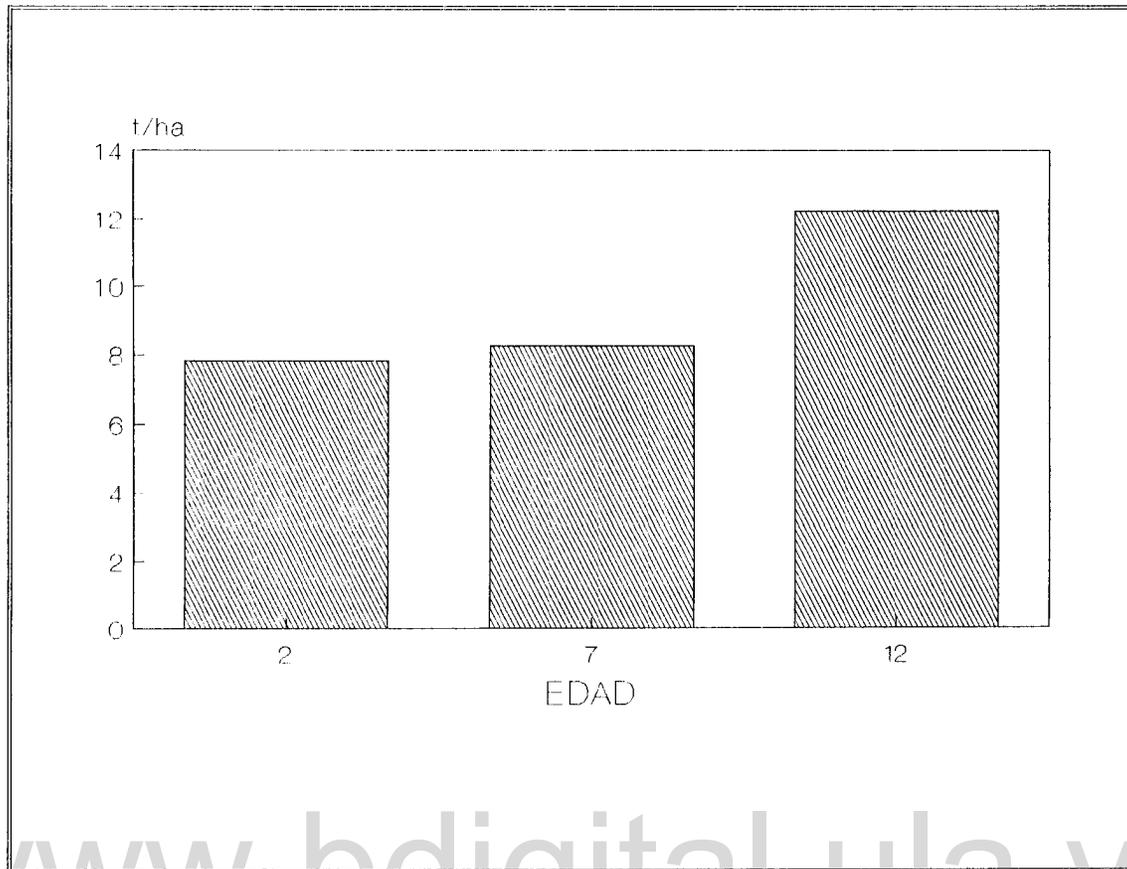


FIGURA 8. Contenido total (Kg/ha) de nutrientes en el suelo (0-40 cm. de profundidad) de tres plantaciones de teca 2, 7 y 12 años.

## 4.2. LOS RESIDUOS ORGANICOS

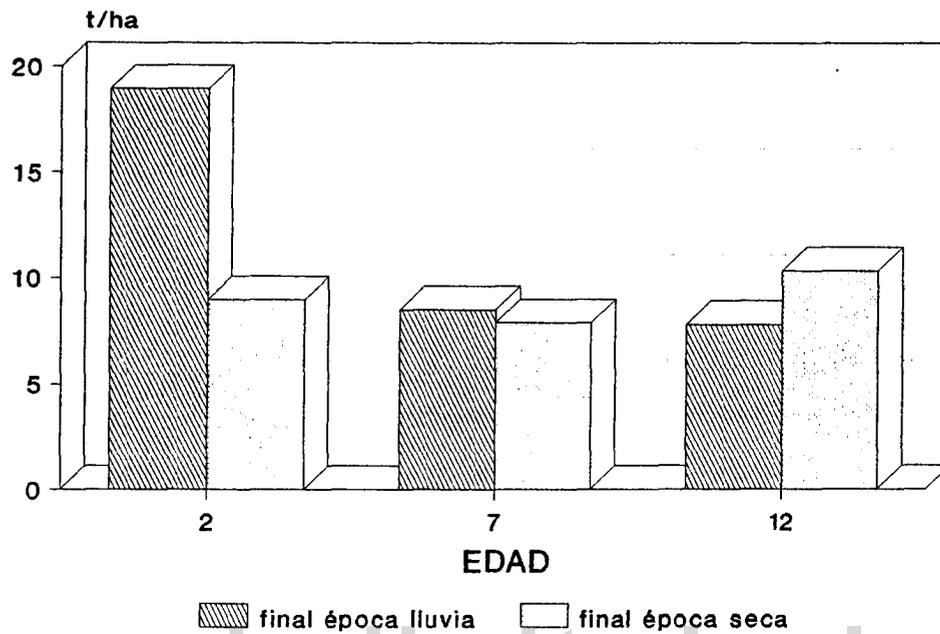
### 4.2.1 Cantidad de residuos vegetales en el suelo

La cantidad de hojarasca en el suelo fue evaluada a finales de dos épocas climáticamente contrastantes: en el mes de octubre cuando finaliza la temporada de lluvias y el mes de marzo que coincide con la culminación del período de sequía. Los valores resultantes de cada época, graficados en la figura 9 representan la media de dos parcelas por cada edad.

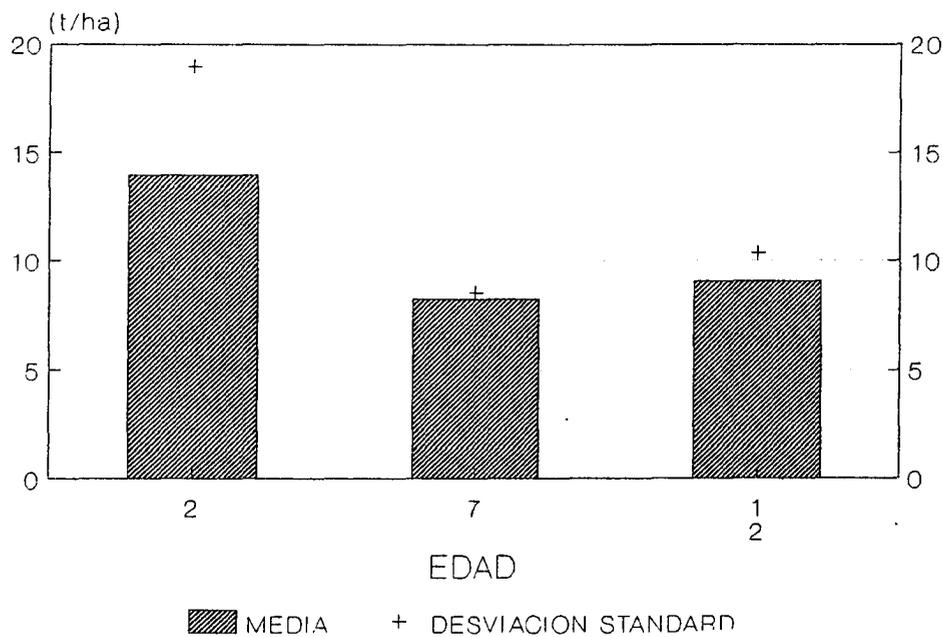
Para el final de la época lluviosa, la cantidad de hojarasca en el suelo de la plantación recién establecida fue de 18.94 t/ha (+- 3.06 ), en tanto las de los años 83 y 78, tenían 8.55 t/ha (+- 1.86 ) y 7.84 t/ha (+- 0.07 ), respectivamente. Puede observarse, la leve desviación standard de la plantación del 78 (cuyos valores de las dos parcelas fueron muy similares, 7.8 y 7.9 t/ha) en comparación con la del 88 (la diferencia fue de 6 t/ha).

Estos resultados reflejan, una considerable variación (más del doble) en la cantidad de residuos en el suelo durante el período lluvioso entre la plantación joven y la de las dos siguientes sucesivas edades.

Al finalizar la época seca, las cantidades disminuyen en unas 10 t/ha en la plantación del 88: 8.98 t/ha (+- 0.52 ). Por el contrario la edad intermedia se mantiene cerca del valor encontrado al final del período lluvioso, con una ligera variación negativa, ubicándose en 7.92 t/ha (+- 0.36). Las parcelas de los rodales puros, mostraron un incremento de 2.54 t/ha, para ubicarse en 10.36 t/ha (+- 0.90 ).



**Figura.9**  
Cantidad de hojarasca (t/ha) por edad en tres rodales de teca (2, 6 y 12 años) en dos épocas climáticas



**Figura.10**  
Aporte de hojarasca (t/ha)(promedio anual) de tres rodales de teca de 2, 6 y 12 años.

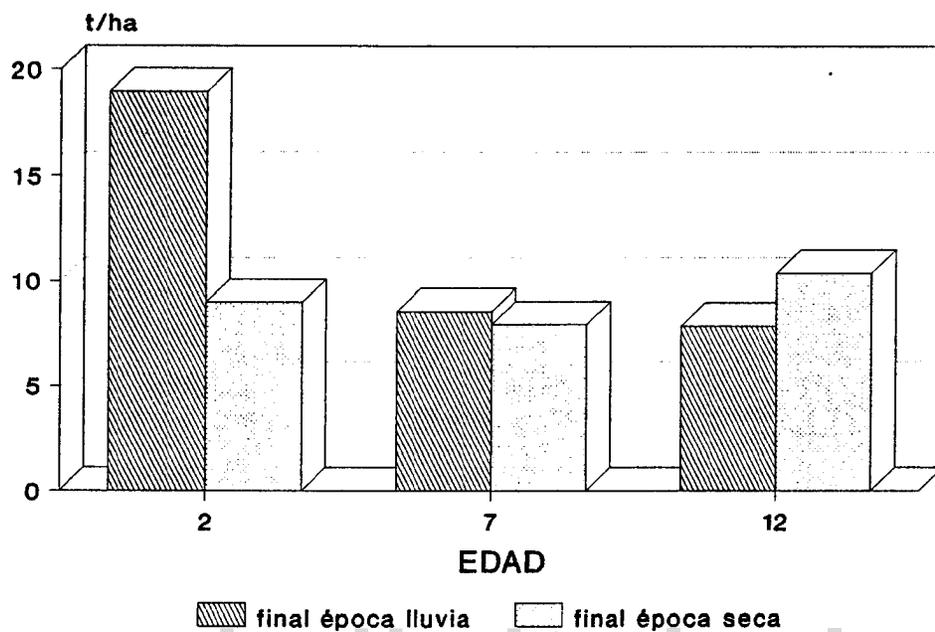


Figura.9  
Cantidad de hojarasca (t/ha) por edad en tres rodales de teca (2, 6 y 12 años) en dos épocas climáticas

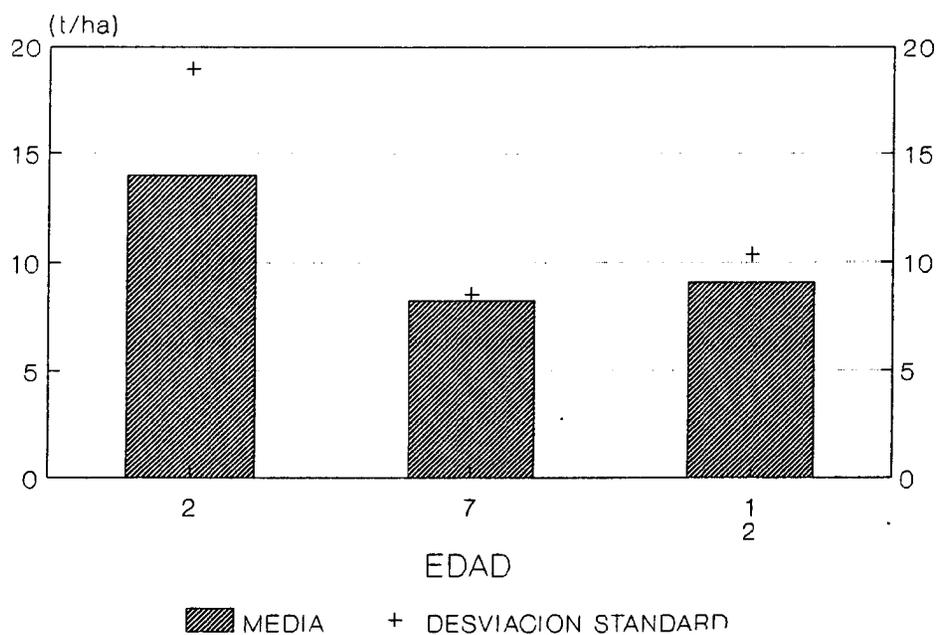


Figura.10  
Aporte de hojarasca (t/ha)(promedio anual) de tres rodales de teca de 2, 6 y 12 años.

En este caso, el bajo valor de las desviaciones indica que la cantidad por edades fue similar entre las parcelas. La característica de este período de sequía, indica que no se manifiesta una diferencia sustancial entre la cantidad de residuos en el suelo por las tres edades. Sin embargo, si se detalla cada valor resultante, la plantación de 12 años supera en 1.38 t/ha a la plantación de 2 años y en 2.44 t/ha a la plantación de 7 años.

La cantidad media anual a partir de ambas mediciones refleja una mayor concentración de residuos por parte de la plantación dominada por el pastizal (13.96 t/ha {+- 4.98}). En el otro extremo, en la plantación dominada por la teca, el valor se ubicó en 9.10 t/ha (+- 1.26 ), en tanto el rodal intermedio fue ligeramente inferior, ubicándose en 8.24 t/ha (+- 0.32 ). Esto se traduce, en una diferencia entre la plantación del 88 y la del 78, de 4.86 t/ha y en una diferencia de 5.72 t/ha, entre la de los años 88 y 83. No hay diferencias significativas entre las plantaciones de 7 y 12 años.

#### 4.2.2. Fraccionamiento de los residuos vegetales

En la figura 11 se representa los diferentes fraccionamientos de los componentes residuales de los dos períodos climáticos estudiados. Cada dibujo con su respectiva fracción es elaborado a partir del promedio de las dos parcelas respectivas de cada edad.

En la plantación del año 88, a fines de la época de lluvia, la cantidad de material proviene en su totalidad de las hojas del pastizal.

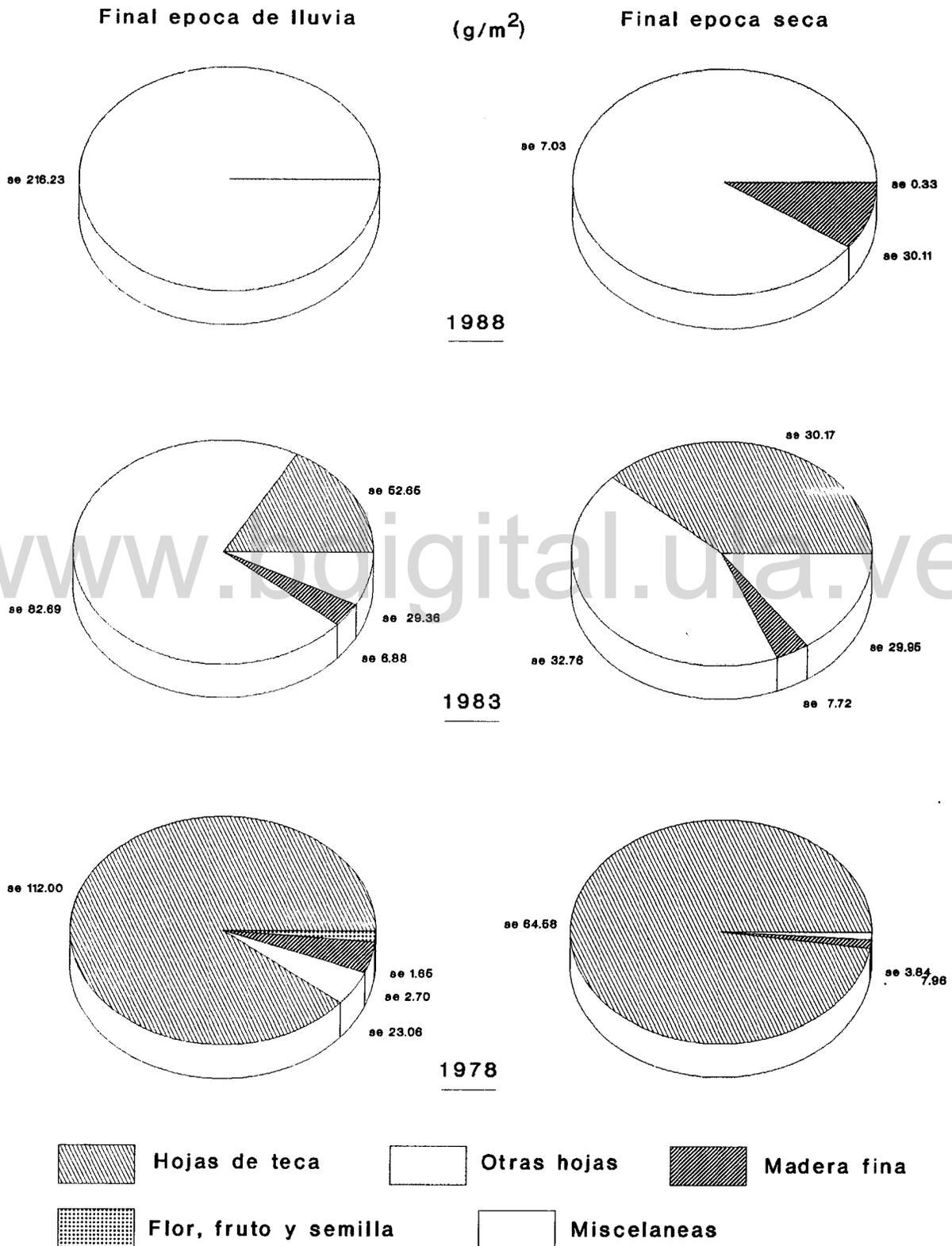


FIGURA 11. Fraccionamiento de la hojarasca (g/m<sup>2</sup>) al final de dos épocas climáticas en tres rodales de teca de 2, 6 y 12 años

Al terminar la época seca, una alta proporción (90.21%) proviene igualmente de las hojas del pastizal y una pequeña proporción (9.74 %) corresponde a ramas finas de algunos arbustos aislados, siendo insignificante (0.05 % en una sólo parcela) la cantidad de hojas de teca.

El rodal mixto se caracterizó por una concentración alta de hojas de latifoliadas y pastizal (72%) y una menor participación de hojas de teca (17%), a finales de la época lluviosa; los restantes 11 %, corresponden a misceláneas y a ramas finas. Por el contrario, a fines de la época seca, la cantidad guarda una proporción similar (43% y 38%, respectivamente) en cuanto a las hojas mixtas y las de teca; el resto forma parte de misceláneas (15%). La fracción de ramas finas es similar (3.43% y 3.63%) durante ambos muestreos.

La presencia mayoritaria de hojas de teca (88% y 97%) indica la dominancia y el tipo de residuos producido por esta especie en la plantación adulta. Se observa una contribución un tanto mayor (12%) de las otras fracciones (madera fina, otras hojas y flores, frutos y semillas) a finales de la época de lluvia, en relación a la época seca (2%). Es de hacer notar que el porcentaje de la fracción reproductiva, aunque muy bajo (1.77%, equivalente a 13.90 g/m<sup>2</sup>), adquiere mayor relevancia a fines del período lluvioso en comparación del final de la época seca (0.18%, equivalente a 1.94 g/m<sup>2</sup>).

#### 4.2.3. Elementos químicos contenidos en los residuos

Para determinar la cantidad de nutrientes presentes en la hojarasca en el suelo, se utilizó el muestreo del final de la época de lluvia.

Los contenidos (kg/ha) de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio de las diferentes fracciones que integran cada rodal en esa época están representados en la figura 12 a y b.

Cabe hacer la observación, que en virtud que la plantación recién establecida se encuentra dominada exclusivamente por la fracción del tipo "pastizal", se expondrán los resultados de cada elemento químico con respecto a esa fracción representada por la cantidad total de esa plantación.

Del mismo modo, dado que las plantaciones de los años 83 y 78, poseen tres tipos de fracciones similares (hojas de teca, hojas mixtas y ramas finas), se realizó un análisis de varianza de una sóla vía ( $p \leq 0.05$ ), a fin de detectar diferencias significativas entre esas fracciones.

##### 4.2.3.1. Nitrógeno

La cantidad de nitrógeno de las tres edades, decrece desde la plantación del 88 hacia la del 78 (figura.12 a). La mayor cantidad pertenece a la del año 88, con 107.19 kg/ha (+- 10.22 ), en tanto las dos últimas edades (83 y 78) presentan 80,19 kg/ha {+-8.03 } y 70,72 kg/ha {+-3.20 } respectivamente.

La cantidad de nitrógeno en el rodal joven fue significativamente ( $p \leq 0.05$ ) mayor a los otros dos rodales. Las diferencias entre el rodal intermedio y el de 12 años no fueron significativas.

En la plantación del año 83, la fracción mixta conformada por la mezcla de la hojarasca de pasto y latifoliadas es la que posee la mayor cantidad, 70,52 kg/ha {+- 2,09 }, lo cual equivale a un 88% del total de esa edad. La cantidad por parte de la hojarasca de teca alcanza el 10.74% y el de las ramas sólo el 1,31%.

En el rodal del 78, la fracción aportada por la hojarasca de teca supera el 90% y el aporte de las restantes fracciones sigue la secuencia latifoliadas, ramas e inflorescencias, con valores de 7.45%, 1.73% y 0.69% respectivamente.

Entre las plantaciones de los años 83 y 78, no hubo diferencias significativas en cuanto a la fracción de ramas, pero entre las fracciones de hojas de teca y hojas mixtas, si se presentaron diferencias significativas.

#### 4.2.3.2. Fósforo

Los resultados de este elemento presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las tres edades. La menor cantidad corresponde a la plantación del 83 (3,45 kg/ha {+-0.34 }), en tanto que las plantaciones del 88 (7,39 kg/ha {+-0.7 }) y la del 78 (6,57 kg/ha {+- 0.24}) fueron mayores.

Cabe señalar que se presentó una diferencia de más del doble entre la cantidad de fósforo de la plantación de 2 años y la de 7 años.

En la plantación del año 83 la mayor proporción de fósforo correspondió a la hojarasca mixta, con un 87% (3.01 kg/ha {+- 0.12 }) respecto al total y luego le siguen la hojarasca de teca con 10.44 % y por último las de las ramas finas con 2.34 %.

En el rodal del año 78 la cantidad de fósforo de las hojas de teca ocupan la mayor proporción con un 90.41% (5.94 kg/ha {+- 0.23 }). Las hojas de latifoliadas, les corresponden un 5.32 % y los valores más bajos (menores de 2.5 %) son de las inflorescencias, flores y frutos (0.17 kg/ha {+- 0.04 kg/ha}) y las ramas finas (0.11 kg/ha{+-0.04 kg/ha}).

Entre estas dos plantaciones (83 y 78), resultaron ser significativas las diferencias entre los valores aportados por las hojas de teca y las hojas de la vegetación mixta. No así para las ramas finas de ambas plantaciones.

#### 4.2.3.3 Potasio

El potasio presentó la mayor cantidad en la plantación del 88 (96,58 kg/ha {+- 9.21 }), superando en unos 76 y 83 kg/ha respectivamente los rodales de los años 83 (20.84 kg/ha {+- 2.24 }) y 78 ( 13,24 kg/ha {+- 0.6 }). Este margen tan amplio entre la plantación joven y las dos subsiguientes edades se refleja naturalmente a nivel estadístico, siendo las diferencias entre esas edades significativas.

Cabe destacar que la cantidad de potasio en la hojarasca del suelo de la plantación dominada por el pastizal es cuatro veces superior al de las otros dos rodales ( el mixto y el de la plantación pura).

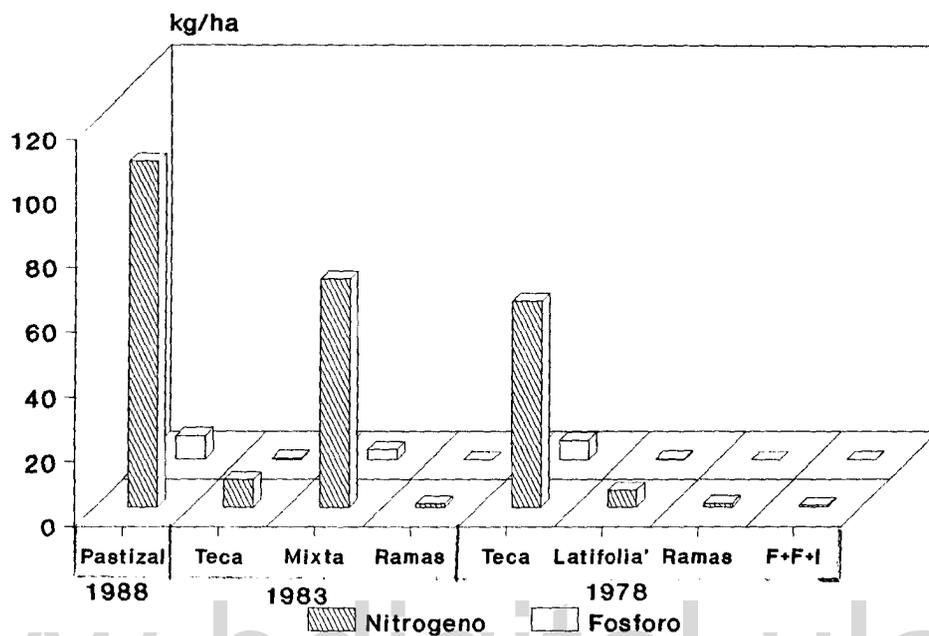


FIGURA 12. a- Contenido de nitrógeno y fósforo (Kg/ha) en la hojarasca por edades de tres rodales de teca 2, 6 y 12 años.

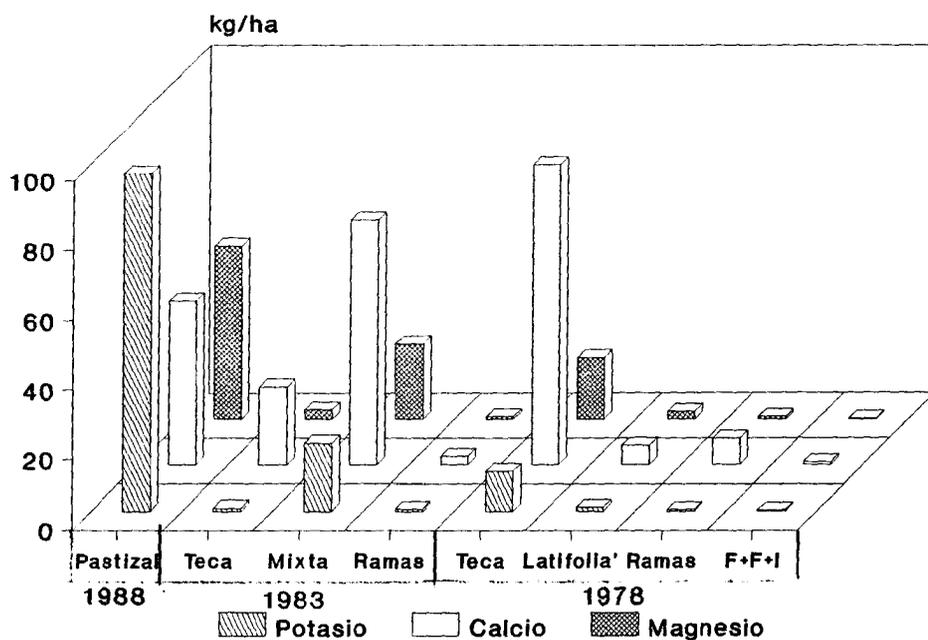


FIGURA 12. b- Contenido de nutrientes (K Ca y Mg) (Kg/ha) en la hojarasca por edades de tres rodales de teca de 2, 6 y 12 años.

En lo referente a las fracciones de estos últimos rodales, en el del año 83 la hojarasca mixta abarca el 93% (19.29 kg/ha {+- 3.81 }), en tanto en el rodal del 78 la fracción de hojas de teca le corresponde el mayor porcentaje, 85 % (11.27 kg/ha {+- 2.55 }).

En el rodal del 83, las fracciones de hojas de teca y de ramas finas, alcanzan sólo un 4.6% ( 0.94 kg/ha {+- 0.10 } y 0.61 kg/ha {+- 0.13} respectivamente).

En el rodal del 78, las fracciones de hojarasca de latifoliadas alcanzan un 9.5% ( 1.25 kg/ha {+- 0.24 }) y las fracciones de ramas e inflorescencias, comparten el 5.5% restante (0.39 kg/ha {0.004 } y 0.33 kg/ha {0.007 }).

Entre esos dos rodales se obtuvieron diferencias significativas entre la hojarasca de teca y las de hojas mixtas. A nivel de ramas finas no se presentaron diferencias significativas.

#### 4.2.3.4 Calcio

A pesar de que las fracciones de peso seco aportadas por la plantación del rodal puro de teca sean inferiores a la plantación dominada por el pastizal, el contenido de calcio se duplico en la del rodal puro: 100.13 kg/ha {+- 11.16 } en el rodal puro vs 47.34 kg/ha {+- 3.03 } en el pastizal. No obstante, ya en la plantación de edad intermedia la cantidad de calcio, 95,37 kg/ha {+- 8.35 }, se aproxima al del rodal puro.

La cantidad perteneciente a la fracción de hojas mixta de la plantación del año 83, le corresponde un 75% (70.34 kg/ha {+- 12.16 } en tanto la fracción de hojas de teca, le corresponde un 24%.

En la plantación del 78, el 86% ( 86.27 kg/ha {+- 9.41 } pertenece a la cantidad de las hojas de teca en tanto un 5,55% es la cantidad perteneciente a las hojas de latifoliadas.

Se puede destacar, que el contenido de calcio correspondiente a la fracción de las ramas es mayor (83:2,46 kg/ha {+- 0.58} y 78:7,62 kg/ha {+- 0.99 ) en comparación con la cantidad suministrada por los otros elementos químicos en esa misma fracción.

En el análisis de varianza entre los rodales del 83 y 78, las tres fracciones fueron significativamente diferentes.

#### 4.2.3.5. Magnesio

Este elemento se ubica con la mayor cantidad en la plantación del año 88, con 49,79 kg/ha {+-6.82 }. En las plantaciones subsiguientes las cantidades alcanzan poco más o menos la mitad de ese valor (25,13 kg/ha {+- 2.46 } y 20,85 kg/ha {+- 3.45 }, es decir cerca de un 50% menos.

La cantidad de las fracciones de pastizal y de latifoliadas (83: 21.83 kg/ha {+- 1.77 }) y de hojas de teca (78: 17.88 kg/ha {+- 2.93 }) se sitúan en un 86% para ambas plantaciones. En cuanto al aporte de las ramas, este es muy bajo, situándose en sólo 0,65 Kg/ha en promedio para las plantaciones del 83 y 78, representando el 2.51% y el 3.21% respectivamente del total de cada edad. La fracción de flores, frutos y semillas del rodal del 78, es la más baja

(0.16 kg/ha  $\{\pm 0.02\}$ ) en comparación con las cantidades reportadas en los otros elementos.

Entre las fracciones de hojas de teca y hojas mixtas de las plantaciones del 83 y 78, se presentaron diferencias significativas, en tanto que a nivel de las ramas, tal como se expuso anteriormente, no se presentaron estas diferencias.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

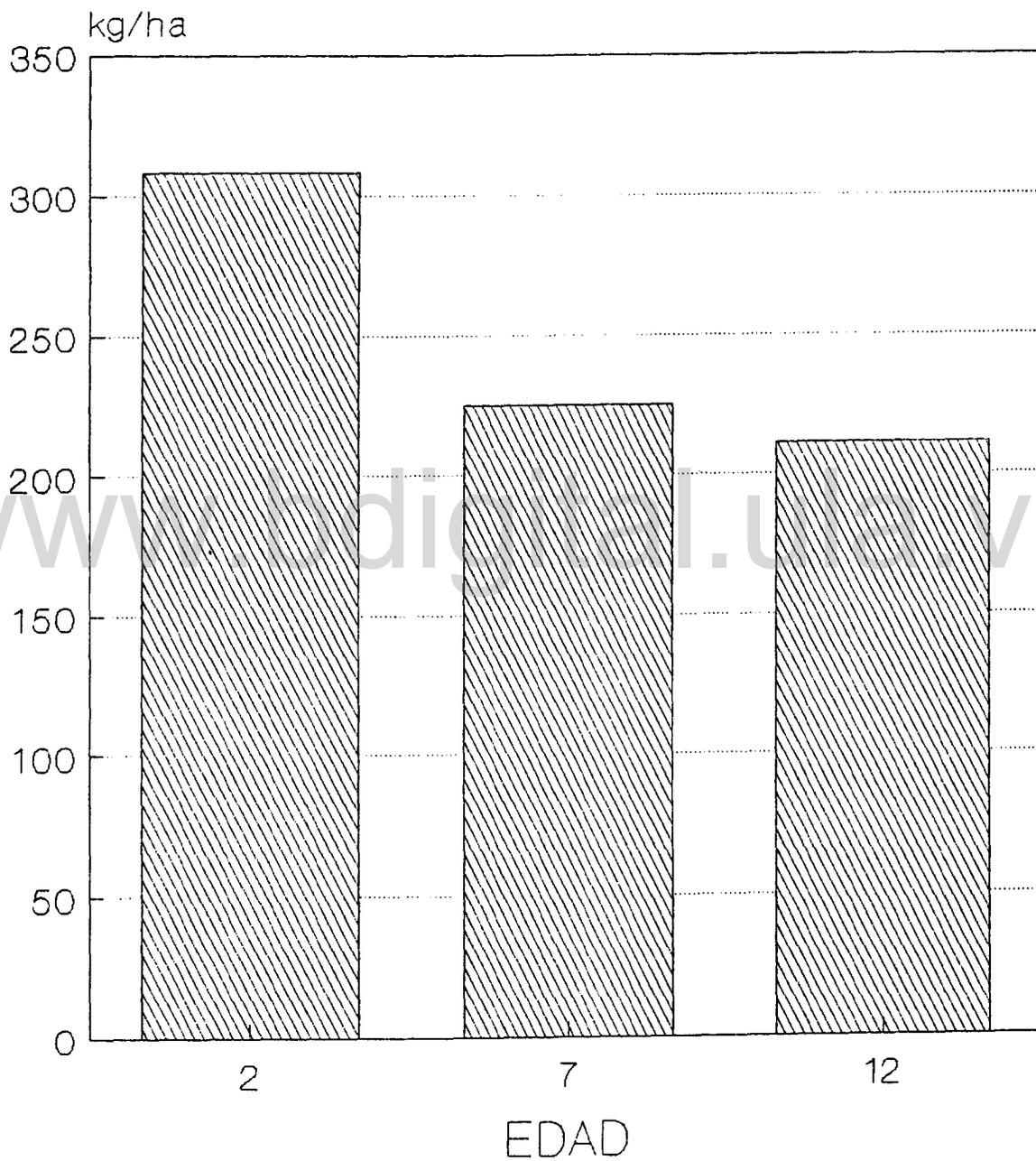


FIGURA 13. Aporte total de nutrientes (Kg/ha) en la hojarasca por edades de tres rodales de teca de 2,6 y 12 años

#### 4.3.BIOENSAYO DE FERTILIZACION

##### 4.3.1.Observaciones sobre el contenido de los cilindros

La totalidad de los cilindros extraídos tanto en la primera como en las sucesivas recolecciones, mostraron la presencia de raíces. En muchos casos, se distinguían claramente las raíces vivas de las muertas, debido a su textura y color. Si las raíces eran más finas, por lo general eran más largas. En otros casos se presentaban agrupadas en finas raicillas o en varias hileras de raíces que atravesaban los extremos de los cilindros. Aparte de las raíces, se encontraban muchos restos fragmentados de hojarasca e incluso de pequeñas ramitas seccionadas. En el primer rodal destacaba una mayor presencia de tejidos de gramíneas en descomposición. Independientemente del tipo de tratamiento, en varios cilindros se encontraron gusanos, lombrices y hormigas.

##### 4.3.2.Producción de biomasa radicular

En la figura 14 se representan los diferentes valores de producción de raíces ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) en los tres rodales estudiados y en los tres sucesivos muestreos con sus tratamientos respectivos.

En el rodal del 88, la presencia de raíces a lo largo de los tres muestreos, se mantuvo constante. La producción tanto en los cilindros de control como en los de tratamiento presentaron el mismo comportamiento.

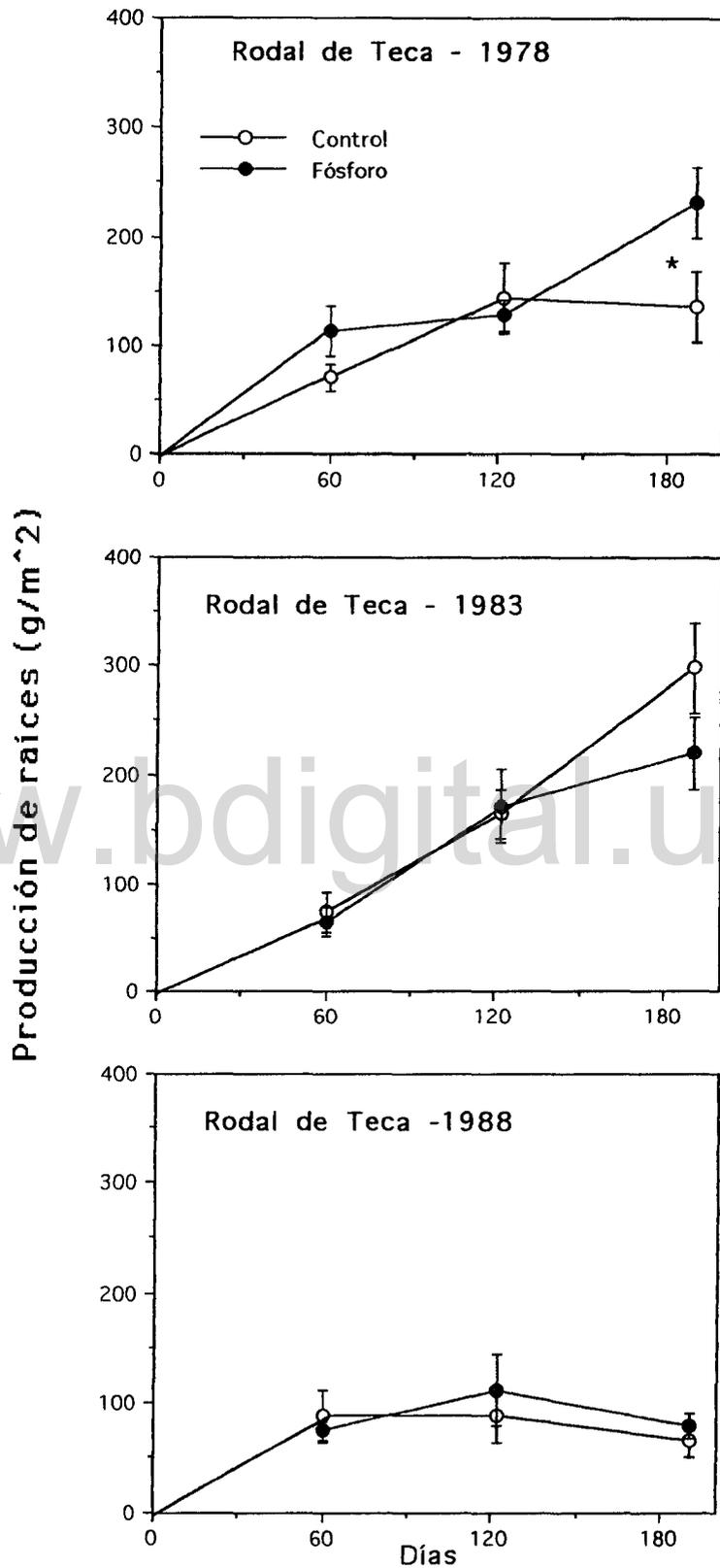
No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en cada uno de los puntos de muestreo. La producción de raíces finas se mantuvo alrededor de  $80 \text{ g}/\text{m}^2$  durante los tres puntos de muestreo.

En el rodal de edad intermedia, tampoco se observan diferencias significativas con respecto a los tratamientos. Hay un fuerte ascenso en la producción de biomasa radicular a medida que progresa el tiempo. Este comportamiento es simultáneo en los dos tipos de tratamiento.

En los primeros 60 días, los dos tratamientos se asemejan, ubicándose alrededor de los 70 g/m<sup>2</sup>. A los 120 días, se produce un fuerte ascenso simultáneo, ubicándose en 177.00 g/m<sup>2</sup> (+6.06). En los últimos 60 días, se produce un nuevo ascenso, más pronunciado en los cilindros de control aunque no significativos con respecto al tratamiento de fósforo. La producción a los 180 días estaría alrededor de 250 g/m<sup>2</sup>. Comparativamente a los demás rodales, este presentó la mayor producción de raíces.

En el rodal de mayor edad, en ambos tratamientos aumenta la producción de raíces a través del tiempo. En la primera etapa de los 60 días, se observa una tendencia a una mayor producción (115 g/m<sup>2</sup>), aunque no significativa en respuesta a la aplicación de fosforita. A los 120 días, tanto el control como el tratamiento con fosforita presentan una producción similar (125 g/m<sup>2</sup>). A los 180 días se evidencia una mayor producción en los fertilizados (230 g/m<sup>2</sup>) con respecto a los de control. La producción de raíces a los 180 días en los cilindros control fue de alrededor de 140 g/m<sup>2</sup>, llegándose a esta cantidad ya a los 120 días. La producción de raíces en los cilindros con fosforita fue similar a la del rodal del 83 al final del ensayo.

La principal respuesta frente a la aplicación de fosforita, tuvo su mayor efecto en el rodal del 78. El análisis de varianza reveló diferencias significativas entre ambos tratamientos a los 180 días.



**Figura.14** Efecto de fósforo añadido (fosforita micronizada) utilizando como índice de limitación nutricional la producción de raíces (g/m<sup>2</sup>) en cada rodal al cabo de 60, 120 y 180 días, para el control y tratamiento de fósforo añadido. Asterisco (\*) significa diferencias significativas a  $p \leq 0.05$  entre tratamientos.

## V. DISCUSION:

### 5.1.LOS SUELOS

#### 5.1.1.Características físicas y químicas

##### 5.1.1.1.Textura

La textura de un horizonte de suelo es una variable casi permanente ya que sólo cambia durante un período muy largo de tiempo (Tamhane et al, 1978). Además, las propiedades físicas de los suelos están sujetas a una menor alteración por causa del manejo de las plantaciones que las propiedades químicas (Pritchett, 1986; De las Salas, 1987). Partiendo de esta concepción, se asumió como común denominador, que los tres rodales tuvieran una textura al menos similar.

Las clases texturales, de cada edad, se destacan por ser mayormente de tipo franco. Un suelo franco es aquél en el cual no predomina ningún tamaño de partícula en especial (Alexander, 1980). Los porcentajes de arena, limo y arcilla están balanceados. Esta característica similar en los perfiles del suelo, puede ser indicativo que las muestras provienen del mismo material parental, independientemente del tipo de vegetación que soportan (Adejuwon y Ekanade, 1988).

Según lo representado en la figura 3, las variaciones de textura se inclinan hacia los suelos franco-arcillosos y franco-limosos. La presencia de

una gran cantidad de arcilla y limo, hará que se mantenga por más tiempo el agua en el perfil. La influencia de la textura se ejerce mayormente a través de la permeabilidad (aireación y balance hídrico) y de la porosidad (superficie de las reacciones iónicas).

El aumento de arcilla no permitiría que los cationes sean lixiviados con facilidad del perfil. La presencia de arcilla favorece la formación de los complejos arcillo-húmicos y por lo tanto le confiere al suelo una buena agregación de sus partículas. Por otra parte la actividad microbiológica es incrementada a partir del efecto ejercido por la fracción arcillosa. En general, la presencia de arcilla en cualquier tipo de suelo es sinónimo de beneficios sobre sus propiedades biofísicoquímicas.

En plantaciones de teca, Hase y Foelster (1983) afirman que el factor predominante que influye en el ecosistema y en la disposición de nutrientes, está relacionado con el contenido de arcilla. Franco (1979) y Hase (1981), encuentran que un mayor contenido de arcilla, en los suelos de banco, limita el crecimiento de la teca por el efecto que tiene en la excesiva retención de humedad y el consiguiente déficit de oxigenación durante la época más lluviosa.

#### 5.1.1.2. Densidad Aparente

Este parámetro físico guarda una estrecha relación con el uso y las posibles perturbaciones a las que fueron sometidos estos suelos previamente al establecimiento de las plantaciones. A menudo los valores de densidad aparente en plantaciones artificiales, presentan alteraciones en comparación con los

procesos de tipo natural que ocurren en los bosques no intervenidos (Sánchez, 1975,1977).

El rodal del año 88 presentó oscilaciones leves, en profundidad comparativamente con los rodales del 83 y del 78. Este hecho podría asociarse con la fuerte penetración radicular de los árboles presentes en estos dos últimos rodales. Sin embargo, algunos autores (Sánchez et al, 1985) afirman que los posibles efectos de los árboles sobre las propiedades físicas se traducen en la eliminación del escurrimiento y de la erosión, en un incremento de la tasa de infiltración y una disminución de la densidad aparente. Black (1975), indica que los distintos grados de penetración radical obedecen, sobre todo, a la resistencia que ofrece el suelo compactado al ser desplazado por las raíces y no a diferencias en la densidad aparente. Por otra parte, se ha comprobado que las raíces de algunas especies arbóreas son capaces de crecer en densidades moderadamente altas donde otras tienen una baja capacidad de penetración (Pritchett, 1986). Esto podría ser el caso de las especies presentes en los rodales del 83 y del 78. En todo caso, la disminución de la densidad aparente en las capas superficiales es producto del mayor contenido de materia orgánica, de la mejor estructuración y de la penetración radical.

La densidad aparente es modificada directamente por la presencia de materiales orgánicos y la porosidad del suelo. Suelos con alto contenido de materia orgánica o carbonato de calcio tienen densidades aparentes bajas, debido a que ambos materiales son menos pesados que la fracción mineral del suelo (Casanova, 1991).

La densidad aparente y la textura deben ser considerados como dos parámetros importantes al evaluar los resultados concernientes al carbono orgánico (Brown & Lugo 1990). Los datos obtenidos de la densidad aparente, tienden a aumentar (88:0.96, 83:0.98, 78:1.10 g/cm<sup>3</sup>). Esto se relaciona, en

términos cuantitativos, con el aumento inicial (5 años: 1.05 y 15 años: 1.25 g/cm<sup>3</sup>) experimentado en una plantación de teca, en la India (José & Koshy 1972, en Sánchez, 1985). La densidad aparente puede mostrar una correlación positiva con el contenido de arena y la edad de la plantación (Sánchez 1985, 1987). En el presente estudio, el porcentaje de arena se incrementa (aunque no significativamente) desde 23.8% (año 88) hasta 27.8% (año 78), por lo que esto indica una relación con el leve aumento de la densidad aparente en la plantación de mayor edad.

#### 5.1.1.3.pH

Los valores de pH reflejan los niveles de acidez en las atmósferas iónicas del suelo original (Black, 1975) y la contribución del H y del Al a la acidez del suelo, en función de su dependencia con la naturaleza del suelo, los tipos de arcillas presentes y el contenido de materia orgánica (López-Hernández, 1977).

Los análisis de pH/KCl son inferiores con respecto a la acidez activa, oscilando en cerca de una unidad en las tres edades. Esta leve diferencia es causada por la fuerza iónica de los electrolitos que desplazan el Al<sup>+++</sup> de las arcillas y estos liberan H<sup>+</sup> al hidrolizarse (Urrutia et al, 1989).

Si las diferencias alcanzaran las dos unidades indicaría un elevado grado de cristalinidad en los minerales arcillosos (Tejedor et al, 1978), saturados parcialmente por los iones de hidrógeno y aluminio de cambio.

Por el contrario, en nuestro caso, ambos iones se presentan sólo en bajas cantidades, favoreciendo de este modo al resto de las cargas catiónicas que mantienen sus sitios de fijación y/o de cambio en el complejo absorbente organo arcilloso.

Los resultados del presente estudio, indican que no existen diferencias sustanciales en los valores de pH. Como una posible explicación, esto pudiera atribuirse al origen común del material parental y a la evolución de los suelos bajo el mismo clima. Por otra parte, puede asumirse que la edad de la plantación aún no permite evidenciar un efecto sobre esta característica.

En plantaciones de teca no ha podido evidenciarse una clara relación entre el crecimiento de los árboles y el pH del suelo (Seth y Kaul, 1980). Sin embargo, Nath et al (1988) detectaron un incremento de una unidad a los 12 años de haberse establecido las plantaciones. Dommergues (1960) atribuye este comportamiento del pH a los elevados valores de calcio, tanto en el perfil como en la hojarasca de teca.

#### 5.1.1.4. Carbono Orgánico

Los contenidos elevados de carbono orgánico que se observan en los primeros 10 centímetros de las tres edades (expresados en porcentaje respecto a las demás profundidades) indican que este se encuentra parcialmente concentrado en la superficie del suelo (88:36%, 83:35%, 78:34%).

En la figura 4 a, que representa la distribución de carbono orgánico de las tres edades, se puede detectar un desfase entre los primeros 10 cm. y los subsiguientes. Esto indica que el carbono es retenido a nivel superficial. Esto puede explicarse, en base a la lenta descomposición de los residuos orgánicos (Alceste, 1991) y a la concentración de raíces finas y medias parcialmente retenidos en ese nivel.

El contenido porcentual total de carbono orgánico en los primeros centímetros del suelo es alto y va decreciendo a medida que aumenta la profundidad. Las concentraciones de carbono orgánico en suelos tropicales

generalmente exhiben un rápido descenso por debajo de los 5 a 10 primeros centímetros y tienden a ser menores que 1% entre los 50 y 100 cm (Sánchez, 1976, Anderson et al, 1989).

Los valores que muestra la plantación más joven (88: 3.78% [se:0.23]) y la de mayor edad (78: 3.90%[se:0.14]), a nivel superficial (0-10cm.), son similares. Sin embargo, pueden haber diferencias en el tipo de residuo orgánico, que puede ser de distinta calidad debido a su procedencia.

El rodal del 88 está constituido actualmente por una vegetación dominada por pastizales y hierbas anuales, cuyas raíces fibrosas presentan una alta descomposición, favoreciendo la aparición de horizontes ricos en sustancias húmicas (Kononova, 1961). Por otra parte, los valores de carbono orgánico relativamente altos de la plantación recién establecida, podrían tener relación con el tipo de vegetación existente allí anteriormente. La segunda se caracteriza por el aporte casi exclusivo de residuos provenientes de los árboles de teca. El suelo está cubierto por un colchón de hojarasca en distintos estados de descomposición, cuyo proceso se caracteriza por ser relativamente lento (Alceste, 1991)

Esto, no se corresponde con lo planteado por Maheut y Dommergues (1960), quienes afirman que la hojarasca de teca se clasifica entre aquellos que poseen una mineralización rápida. Según sus estudios en Senegal, la influencia de la reforestación con tecas ejerce un efecto directo sobre el ciclo del carbono, incrementando en más de un 50% la liberación de gas carbónico, considerado como elemento representativo del nivel de actividad biológica global del suelo.

Los resultados expuestos hasta ahora se concentran en los primeros 10 cm. del suelo, dando la impresión que el tiempo que tiene la reforestación no permite distinguir su efecto en profundidad. Sin embargo, el rodal puro de

teca (año 78), presenta una característica que lo diferencia de los dos anteriores. Su perfil, en este caso representado por los 40 cm. muestreados, mantiene un nivel elevado de carbono orgánico, aún en los últimos niveles (2.59%[se:0.12], 2.20%[se:0.14]) en comparación con el último nivel de los años 88 y 83 (1.93[se:0.27], 1.59[se:0.09]). Esto puede ser el resultado de la descomposición de las raíces a lo largo del perfil. Por otro parte, esto puede considerarse como un factor positivo, dado que la recuperación y mantenimiento de la fertilidad del suelo, empieza a manifestarse habida cuenta que se esta evaluando una plantación en la cual su ciclaje de nutrientes, recién se inicia y se empieza a observar un efecto a lo largo de los 40 cm. de profundidad.

#### 5.1.1.5. Nitrógeno

Los valores de este elemento guardan una relación lineal y positiva con el carbono orgánico (Figura. 6 a). Comúnmente, la mayor cantidad de nitrógeno del suelo se presenta en forma orgánica (Sánchez, 1976; Fassbender & Bornemisza 1987). A su vez esa forma orgánica esta correlacionada directamente al carbono presente en la materia orgánica del suelo (Vitousek y Sanford, 1986). De ello se deriva que los cambios en el contenido de nitrógeno son cualitativamente similares a los cambios que se presentan en el carbono (Nye y Greenland, 1960) y las subsecuentes ganancias del primero están dadas por los mismos factores que influyen sobre el segundo (Szott y Palm, 1984).

Estos argumentos reflejan la estrecha relación del nitrógeno con los residuos vegetales, ricos en carbono, depositados en el nivel superficial del suelo. A su vez la intensa actividad biológica que se manifiesta en gran parte en ese mismo nivel, contribuye a la inmovilización y eventual liberación de nitrógeno por intermedio de los microorganismos.

La concentración de nitrógeno en la capa superficial del suelo es similar en las tres edades (0-10cm= 88:0.16%[0.02], 83:0.13%[0.004], 78:0.19%[0.01]). La plantación ocupada por gramíneas presenta este valor, dado que las raíces finas, al completar su ciclo de regeneración continua presentan una descomposición más rápida e incorporan nitrógeno al suelo.

El espacio ocupado por la masa radicular es la zona de mayor aporte y producción de nitrógeno en el suelo, y por lo tanto es la razón por la que donde domina el pastizal la concentración alcanza principalmente los primeros 10 cm en tanto que en la plantación dominada por tecas, cuyas raíces descienden a mayores profundidades, este elemento se encuentra distribuido más uniformemente a lo largo de la sección muestreada.

Sin embargo, tal como se indico en los resultados, los valores de nitrógeno pueden considerarse bajos para las tres edades. Estos niveles relativamente bajos de nitrógeno podrían estar relacionados con la casi total ausencia de leguminosas tanto en la vegetación dominada por gramíneas como en la dominada por la teca.

#### 5.1.1.6. Relación Carbono/Nitrógeno

Uno de los factores de mayor interés asociados con la descomposición de la materia orgánica, es el referido a la relación que existe entre la cantidad de carbono y de nitrógeno. La calidad de residuos añadidos al suelo, fue originalmente definida por la relación C/N (Jensen, 1929 en Sánchez et al, 1989). El valor de C/N cambia globalmente, en razón de las diferencias en la cantidad de carbono orgánico (Garay, 1987). Por ello, a priori, la apreciación de este factor debe hacerse tomando en cuenta, la proporción y tipos de residuos incorporados en cada rodal.

Por una parte la gran cantidad de hojarasca (proveniente del 88 y 78) explica la alta cantidad de carbono (Lugo et al, 1986) y en razón de la riqueza de nitrógeno contenido en esa hojarasca, la relación C/N de los horizontes superficiales (Puig y Delobelle, 1988), es relativamente baja. Mientras más baja sea la relación C/N habrá una mayor liberación de nitrógeno (Kononova, 1966). Los carbohidratos se descomponen con rapidez y de ello resulta un gran incremento en la actividad microbiana (Foth, 1985). Todo ello se traduce en una mejor mineralización de la materia orgánica.

Conforme se desciende en profundidad se incrementa la relación C/N dado en gran parte por la disminución del denominador representado por el nitrógeno. Allí el material es virtualmente descompuesto y más bien se presenta la inmovilización de los compuestos orgánicos. Conjuntamente y tomando en consideración el tipo de material (gramíneas, arbustos y árboles) la velocidad de descomposición se vera alterada y ello repercute en la relación C/N. A mayor contenido de lignina y de celulosa , hay una disminución en el contenido de nitrógeno y de proteínas, ocasionando un aumento en la relación C/N.

Generalmente una alta relación C/N es observada en los bosques siempre verdes tropicales (Vitousek y Sanford, 1986) y una baja relación en suelos con vegetación secundaria (Uhl y Jordan 1984; Ewel 1986).

#### 5.1.1.7. Fósforo

Este elemento, a pesar de ser clasificado como macronutriente se presenta en los suelos en cantidades mínimas. Su promedio gira alrededor de 0.05% (50mg/100g)(Black, 1975; López-Hernández, 1977; Fassbender y Bornemisza, 1987). No obstante, ocupa una posición crítica, tanto en el crecimiento

vegetal como en la biología del suelo (Alexander, 1980). Aunado a su limitado movimiento en el suelo y a las diferentes transformaciones a que es sometido en su ciclo a través del suelo y de la planta, está considerado como un elemento limitante. En los agro-ecosistemas, en los que se exigen elevados niveles de producción, se le asocia, conjuntamente con el nitrógeno, con los mayores beneficios.

Los valores de fósforo total, fósforo orgánico y fósforo disponible son relativamente más elevados, en los primeros 10cm de las plantaciones de 2 y 12 años en comparación con la de 7 años (figura 5). Las diferencias de acumulación de P sobre suelos similares, son dadas por los variados tipos de vegetación (edad) y por las disimilares tasas de producción en la biomasa (Szott, 1991). Los contenidos de P son siempre mayores en la superficie indicando una dependencia en cuanto a la forma orgánica. La gran cantidad de residuos que se descomponen en ese primer nivel pueden ser la fuente principal de fósforo orgánico en el suelo. Esta afirmación es sostenida por varios autores (Sánchez, 1977; López-Hernández, 1977; Ballard, 1986; Palm et al, 1991; Sánchez et al, 1991), en tanto otros (Vitousek y Sanford, 1986), señalan que el Po. no esta correlacionado con el carbono, en consecuencia el P puede ciclar independientemente de la descomposición de la materia orgánica. El papel que desempeña la materia orgánica es en si complicado respecto a sus interacciones con el fósforo (Tiessen, 1991).

Utilizando los datos de todo el perfil del suelo y las tres edades de los rodales respectivos, obtuvimos (figura 6 b.) una relación lineal significativa entre el carbono y el fósforo total. Esto se ajusta a lo planteado por Salinas et al. (1991) en los que tanto los ambientes dominados por pastos (Blair et al, 1976), como los sistemas boscosos, el reciclaje del P depende casi enteramente de la materia orgánica, proveniente tanto de la

hojarasca como de los residuos de las raíces en el suelo. Cabe hacer el mismo comentario respecto al tipo de residuo depositado en cada sistema (pastizal y tejal). En el primero la concentración de organominerales se limita a los 10 cm. superficiales, luego decae bruscamente, incluso por debajo de los valores de la plantación intermedia (ver Pt en figura 5 a). En ese nivel se ubican las raíces de los pastos. En el rodal de teca pura, los valores de Pt se mantienen por encima de los 20 mg/100g, hasta los 40 cm. de profundidad. Esto indica el papel que juega la descomposición de raíces en el status nutricional de un suelo.

Si bien es cierto que el Po proviene predominantemente de la vegetación (Sánchez et al, 1991), todo el P presente en el ecosistema se origina de la fracción mineral del suelo, dado que es heredado del material parental (Tiessen, 1991). De entre otros tantos minerales, su formación deriva de la apatita, cuyo catión metálico es usualmente el calcio (López-Hernández, 1977). Dado que este elemento es abundante en los perfiles muestreados, puede asociarse con los valores relativamente elevados del fósforo total.

Por otro lado, es importante indicar que las reservas de P en el suelo, están gobernadas especialmente por el pH, distribución de fosfatos de calcio, aluminio y hierro (Fassbender y Grim, 1981; Khanna y Ulrich, 1986) y las concreciones de Fe y Mn -fosfatos ocluidos- (López-Hernández, 1977; Fassbender y Grim, 1981). Estos últimos son comunes en suelos de mal drenaje interno en Ticoporo y en todos los llanos Occidentales de Venezuela (Franco, 1991).

De los valores obtenidos, tanto para el Pt como el Po, una proporción baja (menos de 0,25 mg/100g), es teóricamente "aprovechable" por las plantas. La presencia de fósforo en el suelo que no puede ser utilizado directamente por las plantas enfatiza el papel de microorganismos en la conversión del fosforo orgánico a formas inorgánicas (Alexander, 1980). El abastecimiento de

P depende de las formas lábiles, de la tasa de transformación entre el lábil y el P inorgánico y las tasas de transformación del Po mineralizable en el suelo (Tiessen et al, 1984, Tiessen, 1991). En algunos casos el P puede perderse del sistema por su conversión a formas inorgánicas en el suelo (Proctor, 1987). Del mismo modo, la escasa utilización del P es baja, debido a que gran parte está inmovilizado en el pool orgánico del suelo (Karlovsky, 1981). Sin embargo, el fósforo retenido en los suelos, tarde o temprano es susceptible de volver a la solución del suelo (López-Hernández y Flores-Aguilar, 1979).

La habilidad de las plantas en poder extraer el P mediante la absorción o adsorción depende principalmente de mecanismos selectivos, de la superficie radical, del período de crecimiento, de la asociación micorrizica y de los procesos de inhibición competitiva (Heller, 1985).

#### 5.1.1.8. Potasio

Este elemento, se caracteriza por presentar un patrón diferente a los demás elementos asociados con la materia orgánica (Vitousek et al, 1988). Su principal cualidad es la de ser muy móvil y por lo tanto posee una gran solubilidad a través del ecosistema. Son muy importantes sus adiciones por la lluvia, su liberación en los restos vegetales, su retraslado al suelo mineral, su posterior transformación y sobre todo, su tasa de renovación (Salas, 1987).

Por otro lado, el potasio está presente en el suelo en cinco fracciones diferentes, las cuales actúan bajo continuas reacciones químicas, por esa razón el contenido total no da mayor información acerca de su verdadera disponibilidad y dinámica (Fassbender y Bornemisza, 1987).

La plantación adulta presentó los valores más bajos, con un descenso gradual con la profundidad. Esto puede indicar que existe una incorporación selectiva de Ca sobre el K, lo que ocasiona que en el ciclaje hojarasca-suelo el catión K sea el menos abundante.

En plantaciones de teca de quince años de establecidas, Hase y Foelster (1983) encontraron pérdidas sustanciales de K durante las primeras fases de crecimiento, además de conseguir tan sólo un 10 % de K comparativamente con más del 90% de N,P,Ca y Mg en el suelo. En las plantaciones forestales, el ciclo del potasio adquiere un carácter cerrado, al desarrollarse el rodal (Fassbender y Bornemisza, 1987). Sánchez et al (1985), señalan que el reciclaje del K aparentemente no incrementa en gran medida sus valores en los niveles superficiales del suelo, tal como se obtiene en nuestros resultados.

La asimilación del potasio se ve frenada, debido al antagonismo existente entre los iones de K y Ca (Boyer, 1978). Buckman (1977), señala que la ineficacia del potasio es inducida debido a la fuerte fijación del calcio. En efecto, el ión calcio, relativamente más grueso que el ión potasio, al introducirse en los espacios interlaminares de la arcilla, provoca una liberación de los iones de K. Mediciones hechas en plantaciones con suelos muy ricos en Ca pero pobres en K, demuestran que la inmovilización de Ca aumenta junto con la biomasa, no siendo así para el potasio (Bernhard-Reversat, 1986).

En relación con la plantación dominada por gramíneas, se observan las mayores concentraciones en los primeros 10 cm y decaer bruscamente a valores más bajos. Esto puede atribuirse debido a que este elemento es extraído y reciclado por la vegetación típicamente gramínea, cuyas raíces son más abundantes en ese nivel. Las gramíneas tienen la tendencia de acumular más potasio en comparación con las leñosas (Szott y Palm, 1984; Singh, 1989).

#### 5.1.1.9. Calcio

Es conveniente destacar que ciertos trabajos le asignan a la teca, la denominación de especie calcícola.

Hase y Foelster (1983) destacan que plantaciones puras de teca en el occidente venezolano, provocan una gran remoción de Ca en el perfil superficial del suelo, así mismo la hojarasca se caracterizó por poseer grandes cantidades de este elemento. Por otra parte, Nath et al (1988), en plantaciones de la India, aseveran que esta especie utiliza abundante Ca y retorna poco más o menos la misma cantidad al suelo a través de la hojarasca. Esos autores mencionan a Yadav y Sharma (1968), los cuales demuestran que los suelos bajo plantaciones de teca presentan siempre una elevada tasa de Ca intercambiable. En una revisión de los bosques de teca de la India que cubren unas 9 millones de hectáreas, Seth y Kaul (1980) señalan que el Ca es el elemento más importante para el buen desarrollo de la teca. En Africa, Maheut y Dommergues (1960) encontraron valores muy superiores de Ca en las hojas y la hojarasca de esta especie, lo que estimulaba la actividad de la microflora y la microfauna. Comparando diferentes especies tropicales, Salas (1984) destaca que la teca inmoviliza altos contenidos de Ca en su biomasa.

Los mayores valores de calcio (entre 1 y 3 meq/100g) se encuentran en la plantación que sustenta el rodal puro de teca. A nivel superficial se hacen más notable las diferencias, producto de la deposición de una gran cantidad de hojarasca, muy rica en calcio. No obstante con la profundidad los niveles se mantienen relativamente superiores a los de las otras dos edades, debido también a la deposición y descomposición de residuos de raíces. Esto significa que con el tiempo, este catión adquiere mayor relevancia en el substrato

dominado por esta especie en particular. Algunas familias como las gramíneas, tienden a excluir el calcio de sus tejidos, mientras que las dicotiledóneas tienden a acumularlo en las hojas (Kunzel, 1982 en Medina, 1984).

Con respecto a los demás cationes, este elemento es por lo general siempre superior. En suelos no muy ácidos, el Ca es el catión principal del complejo de cambio (Fassbender y Bornemisza, 1987). Del mismo modo, conforme avanza la edad de las plantaciones, la tendencia es que todos los demás nutrientes decrezcan, excepto el calcio (Cornforth, 1970).

El calcio presenta reacciones antagónicas con la mayoría de los cationes, especialmente el magnesio y el potasio (Boyer, 1978). Con el Mg, la dominancia de uno controla la presencia del otro; puede notarse, como en las correspondientes figuras (7 b y 7 c), tanto en la plantación de 12 años como la de 2 años la presencia del catión dominante se refleja en una relación inversa. Con relación al antagonismo con el K, el rodal del 88 demuestra la influencia de las gramíneas en la que se obtiene una relación Ca/K menor; el rodal del 78 muestra una relación opuesta.

#### 5.1.1.10. Magnesio

De los elementos que constituyen el complejo de cambio, el Mg ocupa el segundo lugar después del Ca. Esto se ajusta a la regla general, en la que las cantidades relativas en miliequivalentes de bases en los suelos siguen el orden: calcio > magnesio > potasio (Black, 1975).

Paralelamente, la disponibilidad de magnesio en un suelo dependerá no solamente de la cantidad total presente, sino de la cantidad en relación a la capacidad de intercambio de los coloides del suelo y de la naturaleza de los iones complementarios (Hernández, 1989).

Un aspecto que destaca en la cuantificación obtenida por este catión, es su distribución irregular a través de las tres edades consideradas. Es decir, la edad intermedia (83) ocupa los rangos más bajos, la edad menor (88) se ubica con los mayores valores, en tanto que la última (78), permanece entre ambas.

La función del Mg y Ca no sólo es importante en la neutralización de los suelos, sino que influyen ampliamente sobre la fijación del N (Fassbender y Bornemisza, 1987). No así, las de la población dominada por herbáceas, en la que estas hacen mínimo uso de este elemento; a su vez, en esta edad se manifiesta claramente el antagonismo Mg/Ca.

Con relación a la plantación adulta, Szott y Palm (1984) mencionan los estudios realizados por Zinke et al (1978) y Ramakrishnan & Toky (1981), en los que detectaron los menores valores en suelos de bosques maduros en comparación de sitios abandonados. Del mismo modo, Fassbender y Bornemisza (1987) afirman que por lo general, una pequeña parte del Mg se asocia con la materia orgánica; no obstante, en las plantaciones de los años 78 y 88, con mayores valores de carbono, el Mg es relativamente mayor.

Si se analiza en detalle las fluctuaciones del magnesio en las diferentes profundidades de los perfiles, pudiese pensarse que este tiene una relación con su grado de movilidad, aunque más baja que la del Ca, dado su mayor potencial iónico. Sin embargo, y asociándolo con una posible lixiviación, Babbar y Ewel (1989) mencionan varios autores con opiniones contradictorias. Gosz et al (1973) y Anderson et al (1983) encontraron que el elemento es fácilmente lixiviable; por el contrario Attiwill(1968) y Bernhard Reversat (1972) afirman que el Mg es muy estable; Swift et al (1981) califican que el Mg se lixivia en proporciones moderadas.

En base a estas afirmaciones y tomando en cuenta los resultados aportados particularmente por la plantación dominada por gramíneas, sí este elemento fuese fácilmente lixiviable, sus valores deberían incrementarse con la profundidad; en términos relativos se aproxima a nuestro análisis en particular. Por ello consideramos que no pareciera haber una lixiviación diferencial a lo largo del perfil y nos inclinaríamos a clasificarlo, en este caso, como un elemento estable dentro del suelo.

#### 5.1.1.11. Acidez Cambiable

Un rasgo esencial de la dinámica del complejo adsorbente es la presencia de aluminio intercambiable a niveles relativamente elevados (Zinck, 1986), así como la presencia de los iones de hidrógeno cambiante (Black, 1975) que actúen en un proceso competitivo frente a los cationes básicos. Empero, es un hecho bien establecido que la acidez cambiante en suelos, es más una función del aluminio intercambiable que del hidrógeno (López-Hernández, 1977). De cualquier modo, según los resultados obtenidos, ambos no tienen una alta significación, dado su valor de menos 1 meq/100g, e incluso menor de 0.14 meq/100g en el perfil del rodal del año 78.

En la solución del suelo el Al posee una fuerza de intercambio muy alta, debido a sus tres cargas positivas, sin embargo, esta es atenuada siempre y cuando el pH sea mayor de 5 (Sánchez, 1976). El aluminio, por lo tanto no juega un papel importante aquí, dado que el valor del pH es siempre superior a 5.

En regiones en las que la precipitación supera la evapotranspiración, el agua se infiltra en el suelo y elimina progresivamente las sales solubles, favoreciendo el aumento de los iones de hidrógeno (Frankart, 1990) y por ende

genera la acidificación del suelo. No obstante, la alta concentración de calcio puede paliar el efecto perjudicial del  $H^+$  (Black, 1975), lo que se desprende de la dominancia de este catión y de sus valores elevados en nuestros resultados. La relación de antagonismo Ca/Al (Boyer, 1978) se observa claramente en la reducción de la acidez cambiante a lo largo de todo el perfil del suelo de la plantación de 12 años.

#### 5.1.1.12. Capacidad efectiva de Intercambio Catiónico

Esta expresión nos resume el número de posibles sitios de adsorción de cationes por unidad de peso-suelo (Foth, 1985) respecto a los cationes básicos nutricionales (Ca, Mg, K) y los cationes no nutricionales (especialmente Al) que interactúan por vía atracción electrostática (Duxbury et al, 1989).

En general hay un predominio de las bases cambiantes, sobre la acidez cambiante (Al+H). Cuando el complejo de intercambio se satura con un elemento (en este caso el Ca), se espera un incremento en su C.E.I.C dado que este ion puede desplazar de los sitios de intercambio a los iones  $Al^{3+}$  y  $H^+$ , donde la naturaleza ácida de estos últimos reprime la formación de cargas negativas sobre la superficie de los coloides (Dabin, 1981).

Los valores medios de la C.E.I.C. son más elevados en el horizonte superficial de los tres rodales (88: 5.501; 83: 4.966; 78: 7.600 meq/100g). Allí se refleja una dependencia muy estrecha con los niveles de materia orgánica. Gillman (1976, en Holt y Spain, 1986) demostró que mucha de la C.I.C de los suelos, los cuales tienen una balanceada proporción de cargas de arcillas, como en nuestro caso, están asociados con niveles apreciables de materia orgánica. La materia orgánica humificada es siempre una fuente de

cargas negativas en suelos tropicales y a su vez una promotora en la retención de formas disponibles o bases cationicas (Duxbury et al, 1989).

Por otra parte, las reacciones de intercambio entre la solución del suelo y la superficie de las partículas favorecerán la estabilidad del pH (Oades et al, 1989), lo que demuestra el papel de la materia orgánica como elemento tampón (Szott, 1991).

Los resultados obtenidos en las tres plantaciones demuestran una tendencia a la baja en función de la profundidad. No obstante el rodal de mayor crecimiento, presenta valores muy superiores respecto a los de menor edad. Se observa un enriquecimiento de las bases a lo largo del perfil. La población forestal logra "extraer" las bases del sub-suelo y las restituye en la superficie por medio de la hojarasca, quien a su vez enriquece los horizontes superficiales (Maheut y Dommergues, 1960).

#### 5.1.2..Cantidades de nutrientes:

Una estimación de la abundancia de estos elementos almacenados en este compartimiento en particular y en un momento dado, puede hacerse tomando en consideración la proporción peso/volumen del suelo, expresada como masa por unidad de superficie (kg/ha). Este es un dato de mayor aplicación y utilidad para el análisis del estudio de los ciclos de nutrientes ( Fassbender y Grimm, 1981; Vitousek, 1982; Golley, 1983). En los trabajos publicados sobre este tópico, se reportan mayormente los valores referidos al nitrógeno, fósforo y los cationes básicos, dado que usualmente son considerados como los elementos requeridos en mayores cantidades (Proctor, 1987). Particularmente, entre otros, merece mencionarse las recopilaciones publicadas por Grimm y Fassbender (1981), Grubb y Edwards (1982) y Proctor (1987). En cuanto al carbono

orgánico, la recopilación más extensa sobre bosques tropicales es resumida por Brown y Lugo (1982). Sin embargo, deben destacarse los trabajos más recientes de Lugo et al (1986) y Weaver et al (1987) en los bosques de Puerto Rico y los de Yamakura y Sahunalu (1990) en las regiones asiáticas.

Debe reconocerse, sin embargo, que se presenta la dificultad de poder establecer comparaciones precisas a partir de estos valores, dado que existen por lo general diferencias en la metodología utilizada y entre la constitución de las diferentes localidades. Así por ejemplo, el nivel de muestreo o profundidad varía entre cada comunidad considerada. Aunado a este detalle y si se pretende interpretar estos resultados bajo un criterio ecológico, se hace necesario enmarcar cada valor dentro de las diferentes variables a las que es sometido (p.e. clima, altura-relieve y tipo de vegetación, por sólo mencionar algunas). Esto ocasiona, indirectamente una falta de uniformidad en los resultados, caracterizados en algunos casos, por unos rangos considerablemente amplios. Por ello, el análisis y discusión del eventual grado de similitud cuantitativa que exista entre estos parámetros químicos debe hacerse bajo un criterio en el que se considere el origen y los aspectos estructurales y funcionales de cada ecosistema en particular.

Esta crítica ha sido planteada de alguna manera por numerosos investigadores (Grimm y Fassbender, 1981; Brown y Lugo, 1982; Proctor, 1987; Alpizar et al, 1985; Fassbender et al, 1985; Proctor, 1987; Vitousek y Matson, 1988).

#### 5.1.2.1. Carbono orgánico

Aunque la apreciación del término "fertilidad" puede resultar ambigua si se comparan los ecosistemas forestales con otros renglones agrícolas

(Veillon, 1989), bajo una concepción edafológica (Fassbender y Bornemisza, 1987) y/o ecológica (Golley, 1983; Jordán, 1983; Sarmiento, 1984) la materia orgánica puede ser usada como un índice para valorar la fertilidad de los suelos, habida cuenta sus efectos beneficiosos sobre varias propiedades del suelo y su participación dentro del flujo de nutrientes del ecosistema. Además, según un recuento histórico resumido por Rotini (1977), la fertilidad potencial del suelo, siempre ha sido estrechamente ligada a su contenido de materia orgánica.

En el presente estudio, la comparación entre la cantidad almacenada en el suelo por las tres plantaciones pone en evidencia el efecto de la reforestación sobre esta propiedad en particular.

Inicialmente, al establecerse la plantación, el suelo se encuentra cubierto por un pastizal denso. El mayor contenido de carbono orgánico de su perfil se concentra en los primeros decímetros del suelo. Al cabo de siete años, se presenta una vegetación secundaria, con un contenido menor de carbono orgánico. Finalmente, la imposición definitiva del rodal puro de teca, muestra un mayor contenido de carbono orgánico, respecto a las anteriores, e incluso con valores superiores en los últimos niveles del perfil muestreado.

Básicamente, el sistema radicular de estas comunidades ejerce un efecto considerable sobre el contenido de materia orgánica del suelo mineral.

Las raíces de los árboles no solamente enriquecen la materia orgánica del suelo, sino que contribuyen a que se liberen lentamente los elementos almacenados en los compuestos orgánicos, por lo que desempeñan un papel importante en el reciclaje de los nutrientes (Pritchett, 1986). Por otro lado, las raíces de las gramíneas son de corta vida y su muerte y descomposición contribuye sustancialmente al contenido de materia orgánica de los suelos (Weaver et al, 1987). Los mismos autores mencionan que Glubczynski (1983), en

Puerto Rico, encontró similares cantidades de carbono orgánico tanto en zonas de pastizales como en áreas boscosas circundantes. En general, se afirma que los sistemas de pastos aceleran el restablecimiento del carbono orgánico de los suelos, más que reducirlo (Lugo et al, 1986). En nuestro caso, el corto tiempo entre la limpieza del sitio y el establecimiento del pastizal, no nos permite descartar el efecto de la vegetación anterior en este sistema.

Durante el transcurso de las etapas sucesionales de las plantaciones forestales, ocurren una serie de cambios (físicos, químicos y microbiológicos) en los sistemas radiculares de las mismas, debido a los diferentes desarrollos de capas orgánicas (hojarasca) y la redistribución de algunos elementos en el perfil del suelo (Bowen, 1984). Ello conlleva a considerar igualmente, que la deposición y acumulación de los residuos orgánicos, característicos de cada comunidad, influyen significativamente sobre el suministro y descomposición de la materia orgánica. En la sección referente a la producción de residuos vegetales, se discutirá sobre la influencia de estos en la fertilidad del suelo. Eventualmente, puede resumirse que a partir de un pastizal el establecimiento definitivo del monocultivo forestal, origina un cambio positivo en el suelo, representado por el incremento de materia orgánica en su perfil.

En principio, se asume que las áreas deforestadas pierden un 65 % de su contenido de carbono original, en los primeros cien centímetros superficiales del suelo y según Lugo et al (1986), luego del abandono del sitio este debe tardar unos 50 años en recobrar un 75 % de su valor original. Sin embargo, en la conversión del bosque a zonas de pastoreo y de acuerdo al modelo planteado por los autores anteriores, se asume que se pierde sólo un 25 % de su contenido de carbono. Esto demuestra que la recuperación aparenta ser mucho más rápida si el retorno a las áreas reforestadas es precedida por una

cobertura de pastos o de hierbas (Weaver et al, 1987). Esta aseveración es confirmada por nuestros datos, los cuales indican que la presencia del pastizal disminuyó la rápida mineralización de la materia orgánica preexistente de la vegetación anterior.

En zonas montañosas húmedas y lluviosas y en condiciones no perturbadas, el contenido de materia orgánica en los suelos oscila alrededor de los 400 t/ha (Brown y Lugo, 1982 , Weaver et al, 1987). Según estos últimos autores, la materia orgánica es significativamente mayor en bosques húmedos que en bosques excesivamente lluviosos (Weaver et al, 1987). Por otra parte, de acuerdo con un reconocimiento, realizado por Lugo et al (1986), el contenido de carbono de los suelos en zonas húmedas y lluviosas es mayor que en los suelos donde predomina un clima biestacional con una vegetación marcadamente decidua.

En un inventario a nivel mundial de los suelos tropicales (Sánchez et al, 1982), el contenido de carbono a la profundidad de 15 cm se ubica en el orden de los 21 a 38 t/ha. Los valores reportados en el presente estudio, pueden por lo tanto considerarse elevados, para la plantación de doce años. Igualmente, son superiores en comparación con la cantidad (60 y 100 t/ha) reportada por Bernhard-Reversat (1974), pero a una profundidad de 50 cm. Pueden considerarse en más del doble, respecto a los suelos (67.8 t/ha; 40 cm. de profundidad) de los bosques de San Carlos de Río Negro, en la cuenca Amazónica (Herrera, 1979, en Cuevas,1983). Así mismo, ligeramente superiores, en relación a un cultivo agroforestal (116 y 97 t/ha, 45 cm. de profundidad) en Costa Rica (Alpizar et al, 1985).

#### 5.1.2.2. Nitrógeno

Los factores anteriormente discutidos sobre la acumulación y distribución de materia orgánica son válidos para el nitrógeno. Este alcanza igualmente los mayores valores en la plantación adulta, destacándose por mantenerlos a un nivel relativamente alto conforme se desciende en el perfil muestreado. Ese incremento puede ser atribuido, principalmente por la presencia de las raíces arbóreas que ocupan gran parte de ese estrato superficial. En general, se asume que importantes reservas de nitrógeno en el suelo implican una estabilidad del ecosistema (Fassbender y Grimm, 1981).

Las plantaciones de los años 88 y 83, presentan así mismo sus mayores valores en los primeros diez centímetros del suelo, que es donde se concentra la mayor biomasa radical. La diferencia entre ambas, estriba en que en la segunda, la proporción se mantiene relativamente constante a medida que se profundiza; en tanto en la primera, dominada por un mayor volumen de raíces en los primeros decímetros del suelo, declinan sus valores a partir de ese nivel.

La disponibilidad del nitrógeno del suelo a las plantas esta ampliamente determinada por la mineralización de este durante la descomposición de la materia orgánica. Sin embargo, no todos los suelos tropicales presentan una rápida mineralización del nitrógeno. No obstante los suelos aluviales que soportan sistemas forestales tienden a circular grandes cantidades de N a través de la hojarasca y según los análisis reportados por Vitousek y Matson (1988), estos suelos tienen tendencia a poseer una rápida mineralización del nitrógeno.

Según la literatura, el valor de la plantación adulta puede considerarse como elevado si se compara con los 3954 kg./ha (50 cm) registrados por Hase y Folster (1983) en los llanos occidentales de Venezuela. Así mismo, por el promedio de los bosques deciduos de la India (Singh, 1989), con valores de 2906 kg/ha (30 cm.). Sin embargo, se acercan un tanto a los reportados por Bernhard-Reversat (1975), en la Costa del Marfil (Banco) con 6150 kg/ha (50 cm.). Por otro lado, es de mencionar que Grimm y Fassbender (1981), refiriéndose a los primeros diez centímetros del suelo, encuentran un promedio en la literatura que se ubica en los 3.200 kg/ha, siendo por lo tanto superior al máximo valor (2112 kg/ha) de la plantación de 12 años. Estos investigadores, señalan que los valores más altos (6050 kg/ha) se han registrados en el monte de Kerigomma, Papua (Edwards y Grubb, 1977), en el valle de Magdalena, Colombia (4800 a 5200 kg/ha, Folster et al, 1976) y en el Verde, Puerto Rico (4600 kg/ha, Brun, 1976).

La plantación dominada por el pastizal, puede igualmente considerarse elevado su valor (30 cm. 3225 kg/ha) con relación al valor (30 cm. 2386 kg/ha) reportado por Singh (1989) en la India.

#### 5.1.2.3.Fosfóro

Fassbender y Bornemisza (1987), plantean que la información disponible sobre las reservas de fósforo en ecosistemas forestales tropicales, es bastante escasa. Sin embargo, logran exponer un cuadro con las diferentes transferencias de este elemento en varios ecosistemas.

En el presente estudio el valor total obtenido en el rodal puro (1141 kg/ha) puede considerarse como bajo si se compara con el valor (50 cm: 2474 kg/ha) reportado por Hase y Folster (1983), en Venezuela y los valores (30 cm:

2220, 3040, 2940, 2030 kg/ha) reportados por Edwards y Grubb (1982), en Nueva Guinea. Con un valor de 510 kg/ha en 10 cm. de profundidad, los suelos de San Eusebio, en los Andes Venezolanos, arrojan el valor más alto encontrado en trabajos similares (Grimm y Fassbender, 1981).

Por otra parte este mismo valor del rodal puro, puede considerarse como alto, dado que el promedio en los ecosistemas forestales de tierras bajas y en los montanos, los valores se sitúan por debajo de los 750 kg/ha. Así por ejemplo, en la llanuras de Colombia, Folster et al (1976, en Grimm y Fassbender, 1981), reportan valores mucho más bajos (50 cm: 254 y 205 kg/ha). En la Costa del Marfil (Banco), Bernhard-Reversat (1975), obtiene un valor similar a este (50 cm: 190 kg/ha). Del mismo modo, Jordán y Herrera (1981), en San Carlos de Río Negro, en Venezuela, obtienen un valor ligeramente superior a estos (40 cm: 292 kg/ha).

Por el contrario, otros trabajos, reportan valores relativamente bajos. Edwards y Grubb (1982) mencionan a Klinge (1975), en Brasil (30 cm: 71 kg/ha) y a Golley et al (1975), en Panamá (30 cm: 22 kg/ha).

#### 5.1.2.4. Potasio

El potasio presentó los mayores valores en las dos plantaciones de menor edad, con una característica en común que fue la de presentar un incremento a partir de los veinte centímetros de profundidad, siendo este más notable en la plantación de siete años. Una explicación probable a este comportamiento, pueda asociarse a la fácil lixiviación o transporte de este elemento en las capas más profundas del suelo debido por una parte al efecto de las lluvias y a la ausencia de una gran biomasa radical (principalmente en la edad intermedia) que impida su fácil lixiviación y favorezca su rápida

absorción. Sin embargo, las pérdidas por lixiviación del potasio, no son susceptibles de ser grandes, salvo en los suelos arenosos y en los que están sujetos a inundaciones (Pritchett, 1986).

En relación a la plantación adulta, las cantidades de este elemento en el suelo, fueron inferiores respecto a las dos anteriores. Tal como se asumió previamente y de acuerdo al carácter cerrado que adquiere el potasio en sistemas boscosos, los valores obtenidos se ajustan a los de la literatura.

En comparación con los bosques deciduos de la India (Singh, 1989) 377 kg/ha, los bosques de Ghana en Africa (Greeland y Kowal, 1960, en Grimm y Fassbender, 1981) 649 kg/ha, los de Venezuela (Hase y Folster, 1982) 399 kg/ha y Panamá (Golley et al, 1975) 353 kg/ha en América, pueden considerarse ligeramente más bajos. Con los valores de Jamaica (Tanner, 1985) 130 y 200 kg/ha, los de Costa de Marfil (Bernhard- Reversat, 1975, en Proctor, 1987) 120 y 115 kg/ha y Venezuela (Grimm y Fassbender, 1981) 180 kg/ha, pueden considerarse superiores.

#### 5.1.2.5. Calcio

Aunque se afirma que los suelos que soportan plantaciones de teca, tienen una mayor tendencia de acumular en sus perfiles grandes cantidades de calcio, si se compara con otras plantaciones y/o bosques naturales, éstos también se destacan por presentar elevadas cantidades de este elemento. Así por ejemplo, en las llanuras de Darién en Panamá (Golley et al, 1971, en Fassbender y Grimm, 1981), encuentran un valor de más del doble (7.222 kg/ha) que en nuestro caso. En tanto Grubb y Edwards (1982) en los bosques lluviosos de la montañas de Nueva Guinea, reportan un valor similar (3750 kg/ha), considerando una profundidad de muestreo diferente (30 cm.). En Colombia,

Folster et al (1976, en Proctor, 1987) y en Venezuela, Hase y Folster (1982, en Proctor, 1987), reportan valores en cerca de la mitad (1780 kg/ha y 1680 kg/ha, respectivamente) de lo obtenido en el presente estudio.

#### 5.1.2.6. Magnesio

La participación cuantitativa del magnesio en los suelos de las tres plantaciones, ocupa, al igual que en las concentraciones relativas, un segundo lugar después del calcio.

La plantación recién establecida, con el mayor valor total en el perfil, se ajusta a su propiedad de ion complementario (Hernández, 1989), en vista que aparenta compensar los bajos valores obtenidos por el calcio. Por otra parte, se reafirma que esta comunidad dominada por un pastizal, pudiera estar utilizando este elemento en cantidades relativamente bajas, por lo que es de esperar un mayor contenido en el perfil del suelo.

Con relación a la plantación intermedia, sus valores más bajos pueden explicarse nuevamente, por la escasa correlación que presenta este elemento, con la proporción de materia orgánica presente en el suelo (Fassbender y Bornemisza, 1987). En este caso, esta plantación presentó la menor cantidad de carbono orgánico, en comparación con las otras dos edades.

La cantidad obtenida por el rodal puro, puede considerarse elevada si se compara con los valores encontrados en la literatura. Tanner (1985), en Jamaica, obtiene cerca de la mitad (400 kg/ha) de lo obtenido en el presente estudio. Un valor similar (460 kg/ha) es encontrado por Edmisten (1970, en Edwards y Grubb, 1982) en Puerto Rico. Golley et al (1971, en Grimm y Fassbender, 1981) en Panamá y Grubb y Edwards (1982) en Nueva Guinea, hallan un valor que se acerca al nuestro (852 kg/ha y 682 kg/ha, respectivamente).

Por el contrario, otros trabajos detectaron valores muy por debajo de estos: Folster et al (1976) en Colombia, 43 kg/ha, Klinge (1976, en Proctor, 1987) en Brasil, 17 kg/ha, Grimm y Fassbender (1981) en Venezuela, 52 kg/ha.

### 5.1.3. Integración de las propiedades edáficas

Las características fisicoquímicas planteadas y discutidas hasta ahora, nos permiten hacer una evaluación del efecto de la reforestación sobre el contexto general de las propiedades del suelo. A pesar de la escasa diferencia temporal entre las tres etapas sucesionales de la plantación, se obtuvieron resultados que permiten evidenciar caracteres cualitativos propios de cada comunidad.

Si bien es cierto, tal como lo sostienen Gorham et al (1979), se está discutiendo sólo en base a determinados factores intrínsecos y se ignoran algunos factores externos, que pudieran no estar incluidos en la representación del ecosistema en su totalidad. Sin embargo, en un tiempo relativamente corto, el sub-sistema suelo viene a reflejar gran parte del sistema forestal que sostiene. Más aún, si se considera el tiempo de establecimiento de la plantación y la edad de la especie en función de su ciclo de vida o longevidad, se puede observar el enriquecimiento de materia orgánica y nutrientes conforme evoluciona el rodal.

La mayoría de las variables estudiadas aquí, mostraron un leve descenso en la edad intermedia (plantación de 7 años).

En un principio, cabría esperar que el suministro de nutrientes aportados por el suelo se incrementará para mantener constante su concentración interna durante el período exponencial de crecimiento (Ingestad, 1987). Empero, las demandas netas de nutrientes varían según el tipo de vegetación y en particular para cada tipo de planta. Por otra parte, en ambientes naturales, en la que domina una vegetación muy heterogénea, varía la oferta y demanda de bioelementos como reflejo de la capacidad específica del suelo (Swift y Lavelle, 1987). Por lo tanto, los resultados en términos de consumo de nutrientes pueden ser considerablemente mayores en aquellos árboles que se encuentran en estado de desarrollo más activo en comparación de aquellos que han alcanzado cierta etapa de maduración.

Se afirma, que los árboles de rápido crecimiento tienen una gran demanda de nutrientes (Lundgren, 1978; Bruijnzeel y Wiersum, 1985), aunque el ritmo de exigencias es mucho más moderado que los de ciclo de vida corto, por ejemplo como en el caso de las gramíneas y pastizales (Bernhard-Reversat, 1986; Kellman, 1989; Singh, 1989). Además, estos últimos no son acumuladores de nutrientes tan efectivos como el bosque, ya que las gramíneas son de raíces someras y no tienen un potencial tan elevado para el almacenamiento de biomasa como la vegetación arbórea (Foth, 1985). Además el sistema de raíces arbóreas puede obtener una fuente de nutrientes inicialmente inaccesibles a las herbáceas. Finalmente, un aspecto que debe contribuir a esa baja de nutrientes y materia orgánica, es que a esa edad no se han desencadenado con tanta efectividad los ya mencionados mecanismos de restitución de elementos utilizados previamente durante las fases de crecimiento. El sistema hace un uso exhaustivo de ellos y es probablemente alrededor de los 12 años, cuando se

establece un virtual equilibrio entre el suelo y la planta. Virtual, debido al hecho que la plantación adulta aún no ha adquirido su plena madurez y por ende el perfil esta aún en proceso de formación. Esto responde a una interrogante muchas veces planteada en el manejo de plantaciones y es el referente a la determinación de la edad cronológica en la que el sistema adquiere una determinada configuración para regular su balance de nutrientes (Cuevas et al, 1989).

Un segundo aspecto que destaca en la mayoría de los perfiles muestreados, es una marcada disminución de los valores entre los niveles de 0-10 cm y 10-20 cm de profundidad.

Una cualidad que se distingue de las diferentes fases de formación de los suelos, es su tendencia a independizarse cada vez más de la fracción mineral de la cual proviene. Esto puede lograrse, sólo a través del tiempo y por el metabolismo y el aporte de elementos de naturaleza biogénica por parte de los vegetales y animales, que se posicionan particularmente en el estrato superior del suelo. En ese nivel, se origina un micro-ambiente energético de fuertes atracciones determinado por un equilibrio entre las cargas negativas del material orgánico y las cargas positivas de los cationes metálicos. Esa zona de margen tan estrecho ( $\pm 10$  cm) actúa como un filtro de captación y retención de coloides fijados sobre la capa arcillo-húmica, impidiendo parcialmente su lixiviación hacia los niveles inferiores.

Esta explicación teórica, pretende aclarar que este fenómeno aparece con toda normalidad y con mayor o menor intensidad en el nivel de interfase atmosfera-litósfera (Toutain, 1987), cuando las relaciones entre el suelo y la vegetación son particularmente estrechas y recíprocas (Zinck, 1986). La distribución energética, espacial, funcional y temporal de los caracteres

nutricionales del suelo reflejarán por lo tanto el normal ordenamiento estructural de un ecosistema (Lavelle, 1987).

Finalmente, es importante recalcar una vez más, que el orden de magnitud de las variables estudiadas aquí puede coincidir o ser de relativa o extrema similitud. No así, su fuente de origen o atributo cualitativo. Las tres etapas poblacionales se destacan por su dominancia en un tipo de comunidad vegetal específica. Cada una de ellas obtiene los elementos nutricionales según sus propias necesidades y ritmo fisiológico e igualmente ejerce diferentes efectos sobre el suelo, promoviendo un sistema de interacciones que caracteriza su etapa sucesional. La excepción puede ser dada en el rodal de menor edad, en la que la disponibilidad de nutrientes fue modelada por el aporte de la vegetación anterior.

#### 5.1.4. Influencia de la plantación sobre la materia orgánica y nutrientes del suelo

El principal efecto de la plantación sobre las propiedades del suelo esta reflejado en gran parte por su incremento en el contenido de materia orgánica. En los suelos forestales la más significativa adición como proceso de formación del suelo, es la materia orgánica (Salas, 1987). Conforme ha ido evolucionando la plantación y se ha ido cerrando el dosel, el suelo se fue cubriendo por una capa espesa de hojarasca. Esta con el tiempo, originó el microclima ideal que favoreció su desintegración y la puesta en circulación de sustancias organominerales de carácter coloidal.

En cualquier tipo de suelo, la adición de materia orgánica genera una serie de influencias de carácter positivo sobre el resto de las propiedades

físicas y químicas de los suelos y especialmente favorece la capacidad de intercambio catiónico (Weaver et al, 1987).

El comentario realizado anteriormente respecto a la comunidad que ocupa cada edad, adquiere aquí la misma relevancia. La materia orgánica no es la misma en todos los suelos; esta es función de su ambiente, del tipo de vegetación que sostiene, de la naturaleza microbiológica del suelo, del tipo de drenaje, de la temperatura, del efecto de la precipitación y del manejo del suelo (Salas, 1987). La calidad de los residuos determinará el tipo de materia orgánica del suelo (Sánchez et al, 1985).

La principal diferencia entre las dos comunidades extremas, es decir entre el pastizal y el rodal puro, es que la materia orgánica del primero tendrá un carácter de transición en respuesta a su ciclo corto de vida y a la calidad de los residuos en descomposición que la componen. En tanto en el segundo perduran los procesos de su formación, no sólo por las características químicas del sustrato en descomposición y por la mayor cantidad de hojarasca sino también por las condiciones microclimáticas que determinan los ambientes forestales. Este criterio es una de las claras distinciones entre el suelo agrícola y el suelo forestal (Pritchett, 1986).

Por otra parte la distribución y acumulación de la materia orgánica del suelo a través de la profundidad generalmente es afectada por el tipo de ecosistema. Esto es debido básicamente a que la entrada de residuos en la superficie del suelo es mayor en bosques que en ambientes de sabanas (Duxbury et al, 1989). La leve gradación de los niveles de materia orgánica de la plantación adulta es indicio que el perfil esta enriqueciéndose lentamente.

Con relación a los nutrientes, la concentración de todos ellos muestra un descenso con el incremento del rodal, excepto para el calcio, el cual muestra una tendencia inversa. Esto se ha observado en otros sistemas de plantaciones forestales (Maheut y Dommergues, 1960; González-Abreu et al, 1985; Nath et al, 1988; Aborisade y Aweto, 1990). La explicación probable, es un eventual consumo por parte de la biomasa arbórea. La riqueza mineral no se encuentra sólo en el suelo, sino en permanente tránsito entre la parte superior de éste y la vegetación (Zinck, 1986). No debe descartarse que la absorción por los árboles no basta para evidenciar esta diferencia y hay que admitir que la forma asimilable no corresponde con la forma intercambiable, que comprende iones fuertemente retenidos por los coloides orgánicos (Bernhard-Reversat, 1986). Por otro lado, tal como se mencionó oportunamente, el sistema de cargas catiónicas se compensa en función del catión dominante, buscando un estado de equilibrio. Lo preocupante sería un exceso de aluminio, lo cual implicaría un empobrecimiento de las bases restantes.

Un aspecto llamativo es que los resultados de la plantación adulta, presentan en todas las variables analizadas (salvo el Mg. de 20-40 cm) un orden numérico bien sea ascendente o descendente, pero siempre distribuido gradualmente. Esta característica demuestra que el perfil tiene una tendencia a estabilizarse, a adquirir un comportamiento más homogéneo. Esto es producto mismo del balance que se ha establecido tanto en respuesta a los factores bióticos y abióticos que lo afectan directamente como en función de su propia capacidad para obtener, utilizar, almacenar y reciclar los elementos necesarios para su metabolismo. El beneficio del establecimiento de este sistema boscoso, es que una vez adaptado y suplidas sus necesidades, logra conciliar esa mencionada "estabilidad", aportando una serie de mejoras y

efectos positivos, al mismo medio que le sirvió de soporte y de fuente energética en su etapa juvenil.

#### 5.1.5. Implicaciones de manejo

En la actualidad, desarrollar sistemas capaces de un rendimiento sostenido es una de las pocas opciones para sobreponerse a las restricciones ecológicas sobre la producción; especialmente en zonas degradadas y/o pasadas a sistemas de explotación intensiva.

El hombre puede lograr la manipulación del medio hacia una tendencia de imitar en gran medida los ecosistemas naturales. El uso adecuado de un manejo integrado puede lograr el alcance de una productividad estable y continua sin forzar en extremo la fragilidad de los factores que influyen sobre el sistema, bien sea este natural o artificial.

La clave consiste en no romper o alterar el flujo de energía de cualquier elemento que interceda en el funcionamiento del ecosistema. La detección del o los componentes susceptibles de convertirse en promotores que activen los mecanismos de interacción de ese flujo energético, constituye la base de los tan deseados sistemas de producción en medios bióticos.

Cuando se menciona la palabra "fertilidad" se le asocia a la de un nivel o capacidad de producción e incluso a una facultad o aptitud. Gachon (1985) afirma, que sea cual sea la versión aceptada, la fertilidad aparece como la resultante, real o teórica, de efectos múltiples e interdependientes, característicos de un medio geográfico (clima y suelo) así como de la acción del hombre (técnicas culturales). En función de esos dos grupos, se le ha

diferenciado en "fertilidad natural", en relación al primero y "fertilidad adquirida" dada por el segundo.

De los factores naturales sometidos a un determinado manejo integral, de tipo agro-silvicultural, intervienen tanto la selección de la planta que se adapte mejor a un determinado suelo, como al uso de las variables ecológicas que interactúen sobre y en ese medio. En términos edafológicos (relación suelo-planta), el efecto de un manejo puede ser evaluado a partir de la rentabilidad del producto obtenido (bien sea con un valor cuantitativo o cualitativo) y en función de las características físicas, químicas y biológicas del suelo resultantes de esa intervención.

Independientemente del tipo de cobertura o vegetación, se pudo determinar en este estudio el efecto beneficioso de la reforestación sobre determinadas propiedades del suelo.

Particularmente, se obtuvo un incremento tanto en la cantidad de materia orgánica como en la sumatoria de los cationes cambiabiles. Se asume que los elementos minerales están en transición entre el suelo y la biomasa viva en pie. Esto es un indicio que el suelo acumula y cicla los nutrientes conforme la plantación va madurando. No obstante, se debe recalcar que el sistema boscoso no ha llegado a su madurez y no puede hablarse aún de una total estabilidad. Los nutrientes fueron y están continuamente extraídos del suelo pero la velocidad con la que se reponga esta pérdida es un factor determinante del ciclo de nutrientes y de la productividad del sistema.

Los niveles elevados de carbono orgánico a lo largo del perfil demuestran que el flujo de nutrientes actúa positivamente. La materia orgánica rige en mayor parte el tipo de interacciones con las restantes partes del suelo (nutrientes y arcillas fundamentalmente). Una de las principales

capacidades de los suelos forestales es conservar y mejorar los niveles de materia orgánica que trae implicaciones, en la conservación de nutrientes del suelo (Lugo et al, 1986). Así mismo, debe mencionarse que la fuente de materia orgánica variará en dependencia del tipo, composición y cantidad de la biomasa muerta que se reincorpora al suelo. Al inicio del establecimiento del rodal la disponibilidad de nutrientes en el suelo estuvo modulada por el aporte de la vegetación previa. En el transcurso del tiempo, la población pura logra alcanzar una fase de "autofertilización", propia de toda vegetación forestal, que extrae las bases del perfil del suelo y las restituye únicamente en la superficie por intermedio de la hojarasca (Maheut y Dommergues, 1960).

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## 5.2.RESIDUOS ORGANICOS

### 5.2.1.Cuantificación de los residuos

La cuantificación de la necromasa en el suelo al final de las dos estaciones climáticas evidencia la fenología contrastante de cada una de las tres poblaciones estudiadas.

La plantación dominada por el pastizal se caracteriza por concentrar la mayor cantidad de biomasa muerta al final del período lluvioso. Su contribución, por el contrario disminuye en cerca de la mitad de ese valor, al finalizar la época seca. La influencia de la escasa precipitación durante una larga temporada condiciona el ritmo de producción y los procesos fisiológicos de esta comunidad.

La mayor captación de nutrientes en plantas herbáceas ocurre durante la estación lluviosa, dado que esas especies crecen y poseen su fase reproductiva en el transcurso de ese lapso de tiempo (Singh, 1989). Por otra parte, la alternancia entre las lluvias y una fuerte radiación solar acelera los procesos de descomposición, mermando la acumulación de residuos así como la presencia de la fauna y microflora del suelo. Vale la pena recordar que entre las variables principales del medio ambiente que influyen sobre las poblaciones descomponedoras están la humedad, aireación, temperatura, materia orgánica, acidez y suministro de nutrientes inorgánicos (Alexander, 1980; Swift et al, 1979).

Un detalle a destacar, es el relacionado con la variación numérica de la necromasa aportada por las dos parcelas muestreadas al finalizar las lluvias. Los valores, tales como se señalaron en los resultados, fueron de 16 y 22 t/ha, es decir una variación de 6 t/ha. Obviamente, sólo dos parcelas no son suficientes para adelantar ciertas conclusiones. Sin embargo, en unas investigaciones pioneras relacionadas con comunidades herbáceas (Laudelout y Germain, 1954 en Dommergues, 1963), se señala que las formaciones de ese tipo, pueden variar considerablemente oscilando entre un mínimo de 7 t/ha y un máximo de 70 t/ha. En las parcelas estudiadas, las condiciones de anegamiento o de mal drenaje pueden incidir sobre estas diferencias entre distancias relativamente cortas.

La fracción perteneciente a las ramas finas que se observa al final del período de sequía, puede atribuirse a algunos arbustos aislados de ciclo de vida corta. Aunque como lo señalan Gallardo et al (1989), el aporte de ramas al substrato edáfico obedece en su mayor parte a una estacionalidad de fenofases; en este caso el bote de ramas pudiera ser consecuencia del efecto de la sequía sobre los arbustos que emergieron en la época favorable.

La plantación intermedia varió en la cantidad de necromasa en el suelo durante el año. La combinación de especies con diferentes ritmos fenológicos, es una característica de la vegetación secundaria (Odum, 1972). Esto contribuye a un cierto balance en la productividad o biomasa por unidad de tiempo, que en este caso se refleja por una mínima desviación (+-0,32 ).

Independientemente, de esa variación ínter-estaciones, las formaciones secundarias incrementan desde su establecimiento inicial, un desarrollo

considerable de biomasa de hojas, la cual se mantiene estable a través del tiempo (Brown y Lugo, 1990).

Puede observarse en las gráficas que al final de la época de lluvia el aporte de la fracción de hojas pertenece en su mayor parte a la vegetación mixta. En tanto que al final de la época de sequía hay una mayor cantidad de hojas de teca lo cual refleja el ciclo natural de máxima caída de hojarasca en la época seca.

La mayor cantidad de la fracción calificada como misceláneas, se encuentra al final de la época seca. La razón de ello puede asociarse al efecto del proceso de descomposición progresivo, que luego de cumplirse este, durante la fase rápida (invierno) y lenta (verano) los residuos son difícilmente reconocibles. La curva de descomposición en el tiempo depende entre otros, de la calidad de los residuos vegetales (Swift et al, 1979).

La plantación pura de teca presenta aquí un comportamiento típico de los bosques deciduos: la eliminación del follaje como una adaptación a la economía del agua, que evita la pérdida considerable de la misma por transpiración. El mayor aporte es por lo tanto, el representado por las hojas.

Con relación a la media anual (9,10 t/ha {+- 1,26 } ), esta se ajusta a la media obtenida en otros estudios, relacionados con plantaciones de teca. Diaz (1991), en Ticoporo reporta un valor de 7,2 t/ha; Egunjobi (1974) en Nigeria, reporta valores que oscilan entre 8,7 y 10,0 t/ha; Maheut y Dommergues (1960) en Senegal, en una plantación de 4 años reporta 5,8 t/ha. Como un caso excepcional, Egunjobi (1974) menciona que en la India, Singh (1962) registró valores que oscilaban entre 11 y 17 t/ha en plantaciones de teca.

## 5.2.2.Elementos químicos contenidos en los residuos

### 5.2.2.1.Nitrógeno

Su deposición o retorno al suelo se manifiesta por intermedio de los desechos vegetales (y de la necrofauna), los cuales son degradados por los microorganismos que realizan una serie de procesos tan vitales como la fijación de nitrógeno, la mineralización, la nitrificación y desnitrificación (Rosswall, 1982).

Por otra parte, a diferencia de los ciclos biogeoquímicos sedimentarios (P,K,Ca,Mg), el nitrógeno es un nutriente gaseoso cuyo principal depósito es la atmósfera (Rosswall, 1982). Sin embargo, desde el punto de vista ecológico, los procesos de mayor trascendencia ocurren entre la vegetación, la fauna, los microorganismos y el suelo (Sarmiento, 1984). Como tendencia general, alrededor de un 80% de nitrógeno se encuentra en el suelo, en tanto que un 10% se encuentra en la biomasa arbórea y otro tanto en la hojarasca (Carlyle, 1986).

De las tres comunidades estudiadas, la más joven dominada por el pasto presentó la mayor cantidad de nitrógeno.

Esa comunidad herbácea esta conformado mayormente por plantas de ciclo anual y el nitrógeno inmovilizado durante el crecimiento es liberado cada año como materia orgánica muerta (Bernhard-Reversat, 1982).

El nitrógeno es un elemento que frecuentemente limita el crecimiento de la vegetación herbácea (Jones y Woodmansee, 1979). Según los resultados aquí expuestos, aparentemente este no pareciera ser un elemento limitante en esta comunidad.

La deposición posterior de este elemento por intermedio de las hojas senescentes puede contribuir, en parte, al incremento obtenido debido a la cantidad de necromasa que es el doble de la cantidad de hojas de las otras dos plantaciones.

La comunidad de siete años se destacó por contener la mayor cantidad de nitrógeno en la fracción de la hojarasca de pasto y latifoliadas debido a su mayor cantidad de necromasa y concentración de este elemento en las hojas.

La plantación pura de teca mostró el menor valor de las tres edades; sin embargo, si se observa la mayor cantidad de nitrógeno se concentra en el suelo por lo que parece indicar que hay un posible almacenamiento de este elemento en la biomasa en pie y en el suelo de la plantación.

En general, los bosques maduros presentan un ciclo de nitrógeno relativamente cerrado con pequeñas entradas y salidas (Fassbender y Bornemisza, 1987). Comparativamente con otros ecosistemas terrestres, se ha demostrado que el nitrógeno es un nutriente mineral que recircula en grandes cantidades por la hojarasca de muchos bosques tropicales (Rodin y Bazilevich, 1967, en Cuevas y Medina, 1991).

La fecha del muestreo (final de la época de lluvias), pudo tener un efecto sobre el contenido de nitrógeno. En los trópicos la variación del contenido de nitrógeno es producto de un efecto meramente climático dado que los procesos biológicos fundamentales siguen siendo los mismos (Bartholomew, 1973 en Sánchez, 1973) y varía sistemáticamente según los grupos vegetales (Manil, 1985).

Diaz (1991), comparando un bosque natural intervenido, una plantación de pino y una de teca, reporta pérdidas de nitrógeno en la hojarasca de esta última y argumenta que la causa puede ser dada, por el efecto del lavado de lluvia. No obstante, sus valores de nitrógeno en la hojarasca (58.36 kg/ha) se aproximan a los obtenidos en este estudio (65.45 kg/ha). A su vez Nwoboshi (1980), en una plantación de teca de 25 años, reporta una cantidad similar aunque ligeramente inferior (49.4 kg/ha).

Según Puig y Delobelle (1988), un valor promedio del aporte de nitrógeno por la hojarasca de los bosques tropicales, se ubica alrededor de los 115 kg/ha. Vitousek (1984), evalúa 62 bosques tropicales (de edades y biomasa variables) con un rango de valores que van desde 7 kg/ha hasta 224 kg/ha.

En el caso particular de la teca los valores se sitúan por debajo de los 100 kg/ha. Esto se corresponde con lo observado por Egunjobi (1974), en la que los bosques y plantaciones de teca contienen mucho menos nitrógeno que los bosques mixtos siempre verdes y deciduos del Africa.

#### 5.2.2.2.Fósforo

Bajo sistemas de pastos con una alta densidad de raíces en la superficie del suelo, el fósforo es continuamente revertido en forma orgánica (Blair et al 1976, en Kuo y Jellum, 1987). Esto induce a pensar que la comunidad de gramíneas minimiza las pérdidas transfiriendo parte de los nutrientes acumulados hacia los órganos subterráneos, que en estas especies son los únicos órganos perennes (Sarmiento, 1984). Lo anterior se puede

aplicar a la cantidad de fósforo correspondiente a la plantación dominada por el pastizal.

La proporción de este elemento contenida en los residuos de la plantación intermedia, es la más baja en comparación con los otros dos rodales.

Una de las consecuencias de las divergencias entre las especies, es su variación en la capacidad relativa para competir por la reserva de fósforo (Black, 1975). Por lo tanto, variará tanto la demanda, como el almacenamiento y retorno del elemento en función de cada especie en particular. Las diferencias significativas entre la hojarasca de hojas mixtas y las de tecas refuerzan estas afirmaciones.

Babbar y Ewel (1989), detectaron la presencia de compuestos fosfatados muy poco solubles en suelos de parcelas de sucesión, en tanto, observaron un patrón de mayor solubilidad en un monocultivo arbóreo (*Cordia alliodora*).

Proporcionalmente al elevado aporte de hojas de teca de la plantación pura, la cantidad de fósforo se limita mayormente a esa fracción. Es decir, el análisis de nutrientes en el final de la época seca daría como resultado que la hojas de teca aportarían una mayor cantidad de este elemento debido al aumento de masa en el suelo.

El valor es semejante al encontrado por Diaz (1991) con 4.80 kg/ha en las hojas y 5.41 kg/ha en la hojarasca total de la plantaciones de Ticoporo. Así mismo, Maheut y Dommergues (1960) ubican en 0.10 % de fósforo (correspondiente al peso seco), en plantaciones de teca de Senegal, relativamente similar a nuestro caso (0.09 %).

### 5.2.3. Potasio

La plantación del año 88, presentó la mayor cantidad por parte de este nutriente.

Esto puede relacionarse con la característica de las gramíneas, las cuales tienen la tendencia de acumular una mayor cantidad de potasio en sus tejidos (Szott y Palm, 1984; Singh, 1989). Comparando el contenido de nutrientes entre comunidades arbóreas y gramíneas, Bernhard Reversat (1986) clasifica el potasio como el elemento más abundante de la biomasa aérea perteneciente a las gramíneas.

La plantación del año 78, mostró un valor bajo, en comparación con otros estudios similares. En Ticoporo, Diaz (1991), obtiene una diferencia de más de 24 kg/ha en hojarasca de teca. No obstante esta diferencia pudo originarse dado que su muestreo se efectuó en la época seca y en el presente caso la fácil lixiviación del potasio luego de la temporada de lluvias, se traduce en una baja de este elemento. En Nigeria, Egunjobi (1974) reporta una media de tres mediciones consecutivas de 71 kg/ha {ds:9.31 }, en tecas establecidas hace 15 años.

Hase y Foelster (1983), en la región vecina de Caparo, encontraron un 70 % de potasio almacenado en la vegetación de 9 años de edad.

Puede afirmarse, que a pesar de la amplia movilidad de este elemento su permanencia en la biomasa viva puede tener un sensible efecto atenuante sobre su ciclaje en el sistema. En plantaciones forestales, el ciclo del potasio adquiere un carácter cerrado, ya que al desarrollarse el rodal, se acumula potasio en las plantas y a través de la producción de hojarasca y su

descomposición, se establece una relación suelo-bosque, muchas veces estable (Fassbender y Bornemisza, 1987). Por lo general, la pequeña cantidad que permanece en la hojarasca, es lo retenido por los organismos heterótrofos (Babbar y Ewell, 1989).

#### 5.2.4. Calcio

La teca se destaca por contener en su sistema una elevada proporción de calcio. Esta especie, por su condición de planta cálcicola, extrae abundante calcio del suelo y repone altas cantidades a través de la hojarasca, en comparación con otras especies deciduas. Esta aseveración es reportada a nivel mundial por la mayoría de los trabajos relacionados con plantaciones de teca (Maheut y Dommergues, 1960; Seth y Kaul, 1980; Singh y Ambasht, 1980; Hase y Foelster, 1983, Adejuwon y Ekanade, 1980; Nath et al, 1988 ).

Independientemente de esta particular concentración de calcio en esta especie, este es un patrón general, comúnmente observado en otras plantas. La proporción de calcio de las hojas tiende a incrementarse durante la senescencia en contraste con la baja de otros nutrientes (Brown, 1974, en Swift et al, 1979; Golley, 1983; Cornforth, 1970). Esto se puede asociar nuevamente, a su ubicación y funcionalidad como componente estructural de la lámina media, en la cual es retenido con mayor intensidad hasta que se inicie la desintegración de las paredes celulares (Attiwill, 1968, en Babbar y Ewell, 1989). Por otra parte, a partir de una revisión sobre los bosques húmedos tropicales, Jordan y Kline (1972) califican como lenta la tasa de ciclaje del calcio.

### 5.2.5. Magnesio

Al igual que su comportamiento a través del perfil del suelo, en la hojarasca su movilidad no está bien definida. González-Iturbe (1988), menciona tres autores que lo llevan a calificar el magnesio como un elemento semimóvil dentro de la planta: puede acumularse en las hojas (Golley, 1983), puede ser retranslocado en el interior de la planta (Larcher, 1977) o ser fácilmente lavable por la lluvia (Parker, 1983).

Los resultados mostraron una mayor cantidad de magnesio por parte de la plantación recién establecida.

Allí, la presencia de este elemento puede tener tanto relación con los restos orgánicos depositados por la vegetación anterior como por el tipo de planta dominante de esa comunidad. Sánchez et al (1985), afirman la presencia de este elemento en ambientes deforestados, por la lenta descomposición de troncos producto del bosque original. Szott y Palm (1984), afirman que posterior a una intervención o al inicio de una sucesión, el magnesio puede aumentar en la capa superficial del suelo ya que este elemento es liberado por descomposición de ramas, troncos y raíces y es retenido fuertemente en ese nivel. Las herbáceas, del mismo modo concentran su actividad en ese estrato. Por otro lado, si consideramos que el magnesio, es responsable de la alta pigmentación verde de los pastizales, es de esperar que este elemento circule y sea retenido con mayor fuerza por esa comunidad.

Un aspecto que debe considerarse, en relación a los otros nutrientes, es que por lo general, cuando aumenta la absorción de potasio, disminuye la del magnesio (Malavolta, 1980). Tal como se expuso anteriormente, esta

comunidad se caracterizo por un elevado valor de potasio, pudiendo por lo tanto repercutir sobre la absorción y ciclaje del magnesio.

Asimismo, tanto el rodal de edad intermedia como la plantación adulta presentaron una cantidad relativamente baja (en comparación con la anterior), y esta, puede relacionarse con el antagonismo que se presenta entre el magnesio y el calcio.

El valor obtenido de la plantación del año 78 (20.85 kg/ha), corresponde al rango de valores detectados en otros trabajos. En Nigeria: 21.56 kg/ha (Egunjobi, 1974) y 22.00 Kg/ha (Kaul et al, 1979), en Ticoporo: 29.20 kg/ha (Diaz, 1991). En términos generales, y en comparación con otros bosques tropicales este nutriente es el que presenta uno de los rangos de menor variación entre los diferentes ecosistemas boscosos.

www.bdigital.ula.ve

### 5.2.3. Integración de los bioelementos en la hojarasca

Es necesario recordar que estos resultados no constituyen un "aporte" representativo de cada plantación, dado que los valores son producto de un muestreo realizado y producido únicamente durante una estación del año. Por ello, se procuro hablar de "cantidades" como un valor parcial contenido en la hojarasca de cada comunidad.

La suma global de los nutrientes estudiados en cada plantación (figura 13), demuestra que existe una diferencia bien marcada entre la cantidad del rodal recién establecido (88: 308 kg/ha) y la de los dos rodales subsiguientes (83: 225 kg/ha y 78: 212 kg/ha). Debe acotarse, nuevamente, que estos valores

dependen por una parte, de su concentración química y por otra, de la cantidad de biomasa muerta que, indirectamente se reflejan sobre el valor resultante. No obstante, en términos reales, esto es la cantidad que para el momento del muestreo, se encontraba en la hojarasca en el suelo de cada plantación.

El comportamiento de los bioelementos nutritivos actúan por igual, en las diferentes comunidades vegetales. Sin embargo, cada una de ellas, debido al tipo de plantas dominantes que posean, hacen un uso diferencial de cada uno de estos bioelementos. Es decir, utilizan, devuelven y reciclan cada nutriente según sus requerimientos fisiológicos particulares. Esto es reafirmado por Pritchett (1986), al comentar que la hojarasca consta de un gran número de compuestos orgánicos complejos, cuyos porcentajes relativos varían con las diferentes especies y en las distintas partes de la planta. Por otro lado, su estructura física y ritmo fenológico condicionan aún más el uso de estos bioelementos. Así por ejemplo, Proctor (1987) en base a los trabajos de Grubb y Edwards (1982) menciona que existen amplias diferencias interespecificas en la composición química de los bosques lluviosos tropicales. Así mismo, la composición química de las hojas puede (Tanner, 1985) ó no (Grubb y Edwards, 1982) estar correlacionada con los nutrientes contenidos en la biomasa maderable. Sánchez (1987), sugiere que algunos árboles o hierbas pueden selectivamente acumular ciertos nutrientes y cita algunos ejemplos: las palmas son ricas en potasio (Folster et al, 1976), los helechos arborescentes acumulan nitrógeno (Mueller Dombois et al, 1984) y los yagrumos acumulan calcio y fósforo en los suelos ácidos (Odum y Pigeon, 1970).

Con relación a nuestros datos, los elementos dominantes fueron el nitrógeno y el potasio (66%), para la plantación recién establecida y el calcio y el nitrógeno para las dos ultimas (83: 78% y 78: 81%); respecto al

fósforo, la plantación del 78 tiene similar cantidad que la del 88, indicando el aumento en la concentración de fósforo en la hojarasca del rodal adulto de teca en relación al pastizal

Según los estudios realizados por Singh (1989) en la que compara las sabanas y los bosques deciduos de teca, encuentra cantidades similares de nitrógeno y fósforo en la hojarasca de ambas, pero las cantidades de potasio son superiores en más del doble en las comunidades de sabanas.

En una revisión sobre el rango de los nutrientes contenidos en la capa de hojarasca de varios bosques tropicales, Sánchez (1973) reporta los siguientes valores (kg/ha/año): N:74-199 P:1-7 K:8-81 Ca:45-220 Mg:10-94. Los valores obtenidos en el presente trabajo se ubican dentro de estos rangos.

#### 5.2.4. Contribución de los residuos

##### a la fertilidad del suelo

Dado que la edafología se basa en el estudio del binomio planta-suelo, una de sus principales ramas de investigación se orienta hacia el examen cuantitativo y cualitativo de los aportes orgánicos que se incorporan al suelo (Toutain, 1987). La caída de hojarasca y la restitución al suelo de los elementos que la constituyen, representa uno de los flujos más importantes del ciclo biogeoquímico en los ambientes forestales y la cuantificación de ese flujo tiene una importancia capital, tanto en lo que concierne a la materia orgánica como a los elementos biogénicos que la componen (Santa Regina et al, 1989).

La materia macroorgánica estrechamente unida a la superficie del suelo es definida como la hojarasca (Stevenson y Elliot, 1989) y constituye el mayor patrón de transferencia de las partes aéreas vegetales (Lonsdale, 1988) al suelo. Este último, empieza a validar su potencial de momento que entran en juego los mecanismos de circulación de nutrientes, de los cuales él es el mayor emisor y receptor. El papel desempeñado por la hojarasca es sin duda fundamental, dado que representa una fuente de "energía" que se incorpora al suelo y transita por entre sus horizontes (Toutain, 1987). Esa energía se concentra en el mantillo orgánico y en los elementos biogénicos que lo componen.

Por otra parte, la resolución del problema del mantenimiento y del incremento del potencial productivo de los suelos forestales, implica un conocimiento profundo de los procesos de evolución biológica que están estrechamente ligados a la naturaleza de la hojarasca producida por cada plantación en particular (Maheut y Dommergues, 1960). En las zonas tropicales la circulación de nutrientes a través de la caída del follaje y su rápida recirculación, compensa la escasa productividad y fertilidad del suelo (Salas, 1984). Cuando los nutrientes están continuamente extraídos del suelo, bien sea por la lluvia o la planta, la velocidad con que se reponga esa pérdida, es un factor clave en la productividad de los sistemas forestales (Babbar y Ewel, 1989). En relación a las sabanas, el nivel de fertilidad es generalmente evaluado mediante el análisis de las capas superficiales del suelo, pero este puede tener poca relación con el desarrollo de la vegetación natural que soporta (Medina y Silva, 1990).

La información obtenida a partir del análisis químico de la hojarasca permite establecer su mayor o menor contribución a la fertilidad del suelo.

En nuestro estudio, la comparación secuencial de tres plantaciones de diferentes edades, demuestra en primer lugar que la calidad o tipo de residuos difiere según la cobertura dominante de cada comunidad. A su vez, la composición del mantillo orgánico representativo de cada comunidad, incidirá sobre el tipo de humus que tenderá a formarse. El humus formado, presentará igualmente, una calidad, estabilidad y capacidad para interactuar con la dinámica fisicoquímica del suelo. En resumen, las adiciones orgánicas representadas por la hojarasca y su posterior tasa de descomposición reflejarán el balance nutricional del suelo.

Si se compara la biomasa viva acumulada por las tres plantaciones podría explicarse parcialmente la razón de la disminución de la tasa de retorno de los nutrientes a la superficie del suelo. La plantación más joven, compuesta casi exclusivamente por gramíneas, se limita a explotar sólo las capas superficiales del suelo (Medina y Silva, 1990). La eficiencia del uso de los nutrientes es en esos sistemas (en comparación con los bosques deciduos) es relativamente baja (Singh, 1989). La constitución fisiológica no se basa en la construcción de un tejido fuertemente lignificado, sino en promocionar una estructura que requiere de la formación de células en permanente renovación.

En oposición, año tras año, el rodal puro fue edificando una biomasa que a la par de ir almacenando ciertos nutrientes, se producía una devolución de un porcentaje de ellos, a fin de establecer un ciclaje de mayor dimensión. Los mecanismos que operan en ese ecosistema son mucho más estables y el ciclo de nutrientes se hace más eficiente, aunque a un ritmo mucho más lento que los

sistemas de sabanas (Singh, 1989). Se requirió de un tiempo mucho más prolongado para la constitución física de la biomasa viva, la cual paralelamente fue almacenando cierta cantidad de nutrientes. Salas (1987), demuestra que se han reportado cantidades apreciables de nutrientes inmovilizados en plantaciones de especies forestales tropicales, especialmente de calcio y magnesio y en menor medida de potasio (Lundgren, 1978, Cornforth, 1970; Hase y Foelster, 1980). La densidad y edad del bosque determinarán la cantidad de hojarasca producida y por ende la cantidad de nutrientes devueltos al suelo (Chatuverdi y Singh, 1987).

Todos esos atributos, permiten evidenciar como la evolución de cualquier ecosistema esta dirigida a maximizar un estado de equilibrio a partir de un balance adecuado entre sus componentes bióticos y abióticos que lo conforman. Particularmente, en los ecosistemas vegetales, ese nivel de autosustento, depende de la capacidad para acumular y recircular los elementos que se liberan a través de la hojarasca.

El proceso de descomposición de la hojarasca conlleva a dos mayores funciones: la mineralización de los elementos esenciales y la formación de materia orgánica (Swift et al, 1979). El nivel de materia orgánica del suelo estará indudablemente relacionado con el tipo de vegetación, y en el trópico esta tendrá un carácter más relevante bajo vegetación boscosa que bajo vegetación de cualquier otro tipo (Morris, 1983). Más aún, bajo vegetación forestal, los suelos sufren alteraciones genéticas por acumulación y degradación paulatina de grandes volúmenes de materia vegetal en la superficie de los mismos. Este es el caso detectado por Nath et al (1988) en la que un suelo bajo plantaciones de teca (28 años), originalmente calificado como Inceptisol se convirtió en un Molisol. Los suelos denominados Molisoles ocupan inmensas áreas en las regiones templadas así como áreas mas pequeñas en los

trópicos; comúnmente tienen un horizonte A grueso, que con frecuencia es particularmente rico en materia orgánica (Alexander, 1980). La producción y descomposición de hojarasca, aunado a una fuerte actividad del sistema radicular de los árboles, genera un enriquecimiento progresivo de materia orgánica, que se traduce en un efecto positivo sobre la fertilidad del suelo. En suma, las poblaciones forestales se destacan por su doble actividad: mientras más consumen, más enriquecen los horizontes superficiales (Maheut y Dommergues, 1960).

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

### 5.3.BIOENSAYO DE FERTILIZACION

#### 5.3.1.Consideraciones previas al bioensayo y su relación con la hipótesis planteada

##### 5.3.1.1. La metodología

Uno de los procedimientos para diagnosticar la deficiencia de nutrientes, se basa en la aplicación de bioensayos. Por lo general estos métodos se desarrollan en ambientes artificiales que intentan reproducir lo más fielmente posible las condiciones naturales. El uso y la validez de estos, pueden ser apropiados para ciertas disciplinas en especial. Por ejemplo, en el medio silvicultural estos bioensayos se llevan a cabo en viveros, con plántulas colocadas en macetas. Las técnicas permiten detectar síntomas visuales y analizar los tejidos de reciente formación; en plántulas de teca, pueden mencionarse los trabajos de Kaul et al (1972).

Sin embargo, los requerimientos nutricionales de las plántulas no reflejan necesariamente el de los árboles adultos. Por otro lado, la variabilidad característica del crecimiento arbóreo y la influencia de las condiciones edafoclimáticas dificultan la selección del procedimiento más idóneo con fines de diagnóstico.

A tal efecto, la distribución de la biomasa radical como indicadora de los sitios de mayor captación de nutrientes por parte de la planta, ha servido como fundamento en numerosas investigaciones ( Cornforth, 1970; Berish, 1982; Srivastava et al, 1986; Cuevas y Medina, 1988 ). Eventualmente, los análisis foliares sirven como indicadores (p.e. Tanner et al, 1990), aunque con una

respuesta no tan inmediata. De hecho, los nutrientes son absorbidos en primer instancia por las raíces y la respuesta es más evidente que en otro tejido con capacidad de transferencia (Bowen, 1984). Por lo demás, la biomasa de raíces y su producción generalmente presenta un patrón espacial paralelo a la superficie del suelo (Anderson y Flanagan, 1989), lo que permite su fácil ubicación y obtención. Por lo general, en la teca, la mayor cantidad de raíces está distribuida entre los primeros 30 cm superficiales (Maheut y Dommergues, 1960; Bell, 1973; Balbuena, 1980; Hase 1981 en Raet, 1987; Srivastava et al. 1986).

En ambientes tropicales de escasa fertilidad, la proporción de raíces finas tiende a ser mayor (Klinge y Herrera, 1978; Berish, 1982; Vitousek y Sanford, 1986) por lo que la fertilidad del suelo puede ser inversamente proporcional a la masa de raíces (Berish y Ewel, 1988). Tomando en cuenta esta afirmación, se puede extrapolar que la producción de la biomasa radicular será menor si hay abundancia de nutrientes. No obstante, la aplicación de un nutriente limitante produce un verdadero estímulo sobre el crecimiento inicial radical (Cuevas y Medina, 1983).

Considerando la variación en los rangos reportados en la literatura sobre la biomasa radical, los resultados obtenidos en el presente estudio, se ajustan al promedio reportado en otros trabajos. Por ejemplo, Raich (1982 en Gower, 1987) reporta 289 g/m<sup>2</sup> en la estación La Selva de Costa Rica; Cuevas y Medina (1988) en San Carlos de Rio Negro reportan 95 y 214 g/m<sup>2</sup>; Srivastava et al (1986) en plantaciones de teca de la India reportan 69.8 y 208.5 g/m<sup>2</sup>; Diaz (1991) en plantaciones mixtas de teca y pino en Ticoporo reporta (de un muestreo a principios de la época de lluvia) 45 g/m<sup>2</sup>.

#### 5.3.1.2. Fósforo y fertilización

La escogencia del fósforo como nutriente seleccionado, se debe a una serie de argumentos que lo ubican como un elemento limitante en un amplia variedad de ecosistemas terrestres tropicales. Su alta estabilidad, es decir su baja movilidad en el suelo es la razón inmediata de su deficiencia para las plantas, además es un hecho bien conocido que muchos suelos tropicales tienen una capacidad extrema para inmovilizar el fósforo (Sánchez, 1976). La escasa producción de algunos agroecosistemas tropicales se debe con más frecuencia a una falta de fósforo que a la deficiencia de cualquier otro elemento, a excepción quizás del nitrógeno (Tamhane et al, 1978; Anderson et al, 1989).

Estudios previos (Franco, 1989; Diaz y Franco, 1988; Cuevas et al, 1989), han señalado ciertas limitaciones por fósforo (ver anexo 2) en las plantaciones de teca de Ticoporo.

Una alternativa inmediata de acción en el establecimiento y manejo de plantaciones forestales, es la intervención directa a través de la fertilización, con base a las deficiencias naturales del suelo y de las exigencias de las especies.

Debido a su particular comportamiento y a sus interrelaciones con los demás componentes y variables del medio edafológico, el fósforo puede constituir un elemento clave en la obtención de los máximos niveles de producción tan deseados en los actuales agroecosistemas de amplios y forzados rendimientos.

A pesar de que el uso de fertilizantes para incrementar la productividad de los sistemas forestales no constituye un concepto nuevo (Ballard, 1986; Pritchett, 1986; Salas, 1987), se requiere de considerables esfuerzos para investigar sus respuestas cuantitativas (Ballard, 1986) y más aún en el medio tropical (Bowen y Nambiar, 1984). Para el caso específico de las plantaciones de teca, la fertilización ha sido ampliamente recomendada (Bhatnar et al, 1969; Bell, 1973; Sakartiko, 1981 en Bruijnzeel y Wiersum, 1985; Hase y Foelster, 1983; Kishore, 1987; Franco, 1991)

Aunque en los últimos años se han obtenido excelentes resultados con la aplicación de abonos fosfatados, existen severas críticas negativas (Karlovsky, 1981; Bolin et al, 1983) por la imposición del excesivo uso del fósforo en una gran mayoría de agroecosistemas, alterando su repartición proporcional en los diferentes ciclos en los que interviene. Sin embargo las implicaciones ecológicas no deben descartarse sino ser objeto de investigaciones paralelas a las de su real efectividad y necesidad.

El efecto más evidente de la adición de fósforo se manifiesta sobre el sistema de raíces de la planta, dado que fomenta la formación de raíces laterales y fibrosas (Tamhane et al, 1978). Según Gower (1987), el fósforo (junto con el calcio) ejerce una mayor influencia sobre la distribución de raíces finas en los bosques tropicales de tierras bajas, del mismo modo que el nitrógeno de los bosques templados. Similar conclusión es dada por Cuevas y Medina (1983) en los suelos oligotróficos de la Cuenca Amazónica.

Debido a que los fertilizantes fosfatados obviamente contribuyen al desarrollo de las raíces de las plántulas y con frecuencia quedan disponibles en el suelo durante muchos años después de la fertilización, se ha hecho costumbre aplicarlos en las primeras etapas de la vida de las plantaciones (Pritchett, 1986).

La dosis utilizada (423 kg/ha), se ajusta a los efectos de un bioensayo, considerando que su objetivo es determinar si hay o no respuesta frente a la adición del fósforo.

Tomando en cuenta la dinámica del fósforo en relación al régimen hídrico imperante en la zona, la puesta en marcha del bioensayo coincidió con el inicio de las lluvias. El aprovechamiento y difusión del fósforo por las plantas se origina en las regiones tropicales estacionales durante la estación lluviosa (Solarzano, 1989). El clima y particularmente la precipitación, es una variable que ayuda y desencadena los procesos de liberación de nutrientes (Swift y Lavelle, 1987).

### 5.3.2. Cuantificación de la biomasa radical

Es importante aclarar que cada edad se caracteriza por poseer un tipo de vegetación, bien sea dominante o mixta.

En la del año 78, el substrato esta poblado exclusivamente de raíces y raicillas de teca. En tanto que la plantación del 83 esta constituida por una mezcla de teca, vegetación secundaria y gramíneas y la del 88 esta dominada por un pastizal denso.

Esto implica que las diferentes especies de plantas tengan requerimientos nutricionales y hábitos de crecimiento específicos por lo que varían sus necesidades de fósforo, así como su habilidad para utilizar las diversas formas de ese elemento en el suelo (Solarzano, 1989). La configuración del sistema radical, la asociación micorrizica y la tasa de crecimiento son los caracteres que influyen sobre la tasa de extracción de fósforo por las plantas (Bolan, 1991; Tiessen, 1991). Independientemente del tipo de vegetación, la disponibilidad de fósforo para las plantas es dinámica y sus niveles pueden variar estacionalmente en respuesta a las reacciones biológicas y químicas del suelo (Kuo y Jellum, 1987).

En el primer rodal, donde hay predominancia de gramíneas, hay una producción baja y sostenida de raíces, tanto en el control como en los tratamientos. Esto sugiere que esta comunidad tiene bajos requerimientos de este elemento y podría estar utilizando el fósforo lábil de origen orgánico de la vegetación anterior.

En plantas herbáceas de las sabanas de Centro América, Kellman (1989) detecta una mayor acumulación de potasio, calcio y magnesio en los tejidos vivos de las plantas, no así de fósforo. Del mismo modo comparando la cantidad de elementos minerales del estrato herbáceo de una plantación de *Eucalyptus camaldulensis* con un bosque natural, Bernhard-Reversat (1986), halla los valores más bajos para el caso del fósforo y los valores más altos para el resto de los elementos.

En el rodal de edad intermedia, se destaca un fuerte ascenso en la biomasa radicular a medida que progresa el tiempo.

Cabe destacar que la presencia de numerosas y diferentes especies contribuye en gran parte a ese incremento radical (Berish y Ewel, 1988).

Cuando se tienen poblaciones mixtas estas poseen una elevada población radicular, explotando al máximo el área de suministro nutricional en comparación con poblaciones monoespecíficas (Pritchett, 1986). En general en parcelas sucesionales la aparición de un gran número de especies (Vitousek y Reiners, 1975) refleja la ocupación del suelo por el elevado volumen de raíces.

Los amplios rangos de producción radical observados, pueden tener relación con las diferencias de absorción y requerimientos del fósforo, así como a la densidad y penetración radical de la variedad de especies presentes en ese rodal. Algunas especies son mucho más sensibles que otras al suministro de fósforo por el suelo. Black (1975), afirma que las especies vegetales difieren mucho más en su carácter individual de reacción frente al suministro de fósforo que al de nitrógeno y potasio. Su planteamiento se basa en el requerimiento, uso del fósforo y características del sistema radical de cada planta en particular. Ballard (1986), establece el patrón de acumulación del fósforo y la biomasa de los árboles forestales, e indica que el mismo varía con la edad y el período de desarrollo.

A su vez, esta plantación puede también estar utilizando el fósforo lábil proveniente de la vegetación anterior, por lo tanto no tendría una respuesta a la adición del elemento.

Hase (1981 en Raet, 1987) encontró reservas más altas de fósforo bajo bosque secundario que bajo el bosque natural maduro, y establecía la relación debido a las quemas anteriores a las que fueron sometidos estos suelos. Sin embargo, Cornforth (1970), detectó que con la eliminación de un bosque siempre verde y su sustitución por una reforestación de Pinus caribbea, luego de la quema hubo un leve incremento del fósforo disponible, pero en los siete años sucesivos las reservas de fósforo disminuyeron y nunca lograron alcanzar sus

valores originales. Egunjobi (1963) y Onotoso (1971) citados por Adejuwon y Ekanade (1988) han notado que en las áreas de los bosques del sur-oeste de Nigeria las reservas de fósforo fueron agotadas desde que los árboles fueron removidos.

Cuando la plantación alcanza un desarrollo dominante, es decir cuando el dosel se cierra por completo y la integran sólo los individuos de teca, la biomasa de raíces es exclusiva de esa especie.

En respuesta a la aplicación del elemento, esta se hace significativa entre los tratamientos a los 180 días. Se podría afirmar que existe un secuestro del nutriente en la biomasa y recircula sólo lo que se reincorpora como residuo. Si se toma en cuenta que el sistema llega a una etapa en la que se inicia un ciclo interno de nutrientes, es muy probable que no retorne al suelo lo consumido durante sus etapas de desarrollo. La masa de raíces finas producidas por el fósforo es similar a la cantidad de raíces del rodal intermedio, el cual no refleja limitación nutricional de este elemento.

Este es el caso expuesto por Geigel (1977), en el que estudiando la restitución de nutrientes devueltos al suelo mediante la hojarasca de diversas especies, entre ellas la teca, obtuvo los mayores niveles para el N, Ca y Mg y los más bajos para el P y el K.

En una serie de estudios sobre el efecto de fertilizantes fosfatados en plantaciones de teca (Kishore, 1987), los análisis concluyeron que la aplicación del fosfato incrementó notablemente el crecimiento en altura de las plantas de teca, en los dos primeros años iniciales al tratamiento. Bhatnar et al (1969) indican que para un buen crecimiento en las etapas primarias de desarrollo, la teca requiere de cierta dosis de fertilizante fosforado. La absorción en las primeras plantaciones reduce los nutrientes del suelo hasta niveles que limitan el crecimiento y se necesita un uso liberal de roca

fosfatada para estimular un crecimiento inicial vigoroso de manera que los árboles jóvenes puedan predominar sobre las herbáceas competidoras (Pritchett, 1986).

Las deficiencias en fósforo tienen mayores probabilidades de desarrollarse en los bosques manejados de manera intensiva (Pritchett, 1986). Adejuwon y Ekanade (1988) destacan que la cantidad de fósforo en el subsuelo es significativamente más alta en la selva nublada que bajo plantaciones de *Gmelina arbórea*, *Tectona grandis* y *Terminalia superba*.

Se puede concluir que la limitación nutricional se manifiesta en los rodales de mayor edad, donde la disponibilidad proviene principalmente del ciclaje interno de nutrientes. El fósforo ha sido utilizado durante las sucesivas etapas de crecimiento, lo que a la larga incidirá sobre la producción y el aspecto fitosanitario del sistema forestal.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## VI CONCLUSIONES

El manejo y el tiempo previo al establecimiento de las plantaciones de teca de 2, 7 y 12 años presentan una relación directa con los resultados obtenidos.

El efecto de la reforestación a partir de una plantación monoespecífica de teca, se reflejó parcialmente en el incremento del contenido de materia orgánica y bases cambiables en el suelo de la plantación de mayor edad.

La plantación recién establecida concentra mayormente sus efectos en los primeros diez centímetros del perfil.

El rodal de mayor edad distribuye sus efectos a lo largo del perfil muestreado (40 cm). Esto es producto de la influencia de su sistema radical.

La plantación de edad intermedia se caracterizó por mostrar un descenso en la mayoría de las variables químicas estudiadas. Este comportamiento puede atribuirse a su carácter de comunidad transitoria de crecimiento exponencial, que se traduce en un mayor requerimiento de nutrientes siendo esto último reflejado en el perfil del suelo.

La teca tiene un efecto directo sobre la acumulación de calcio, tanto en el perfil del suelo como en la hojarasca que produce.

El aumento en la cantidad de calcio de la plantación adulta, podría provocar la precipitación de fósforo (como fosfato de calcio), disminuyendo la disponibilidad de este elemento.

La relación carbono/nitrógeno del suelo resultó elevada para las tres edades, indicando una lenta descomposición de los residuos producidos por cada comunidad. Esto se corresponde con lo observado por Alceste (1991), en la cual los procesos de descomposición de la hojarasca de teca ocurren a un ritmo relativamente lento.

La evaluación de la producción de hojarasca a finales de dos épocas climáticas, evidencia la fenología contrastante de cada una de las comunidades dominantes en cada plantación.

La concentración del aporte mayoritario de los elementos que circulan en cada comunidad a través de los residuos, es en algunos casos del mismo orden de magnitud, no obstante, el tipo y calidad de estos residuos es sustancialmente diferente, lo cual tiene un efecto directo en la calidad de la materia orgánica del suelo. Los requerimientos nutricionales y el ritmo de crecimiento varían de acuerdo a las especies dominantes en cada una de ellas.

El fósforo orgánico puede considerarse limitante en el rodal de 12 años basado no sólo de acuerdo a los resultados del bioensayo de fertilización, sino también al lento enriquecimiento relativo de este elemento con respecto a los otros, en la cronosecuencia estudiada.

Por una parte, durante las sucesivas etapas de crecimiento, este elemento ha sido previamente utilizado y/o almacenado en la biomasa viva de esta plantación. Por otro lado, esta limitación puede atribuirse a la circulación del nutriente a través del ciclaje externo por descomposición y mineralización de los residuos orgánicos. Esto refleja la importancia de la fracción orgánica en el mantenimiento del ecosistema.

## VII. BIBLIOGRAFIA

ABER J. & J. MELILLO. 1980. Litter decomposition: measuring relative contributions of organic matter and nitrogen to forest soils. *Can. Jou. Bot.* 58:416-421.

ABBADIE L. 1984. Evolution saisonnière du stock d'azote dans la strate herbacée d'une savane soumise au feu en cote d'Ivoire. *Acta Oecologica* 5(19):321-334.

ABORISADE K. & A. AWETO. 1990. Effects of exotic tree plantations of teak (*Tectona grandis*) and gmelina (*Gmelina arborea*) on a forest soil in south western Nigeria. *Soil Use and Management* Vol 6, num.1;43-45.

ADEJUWON J. & O. EKANADE. 1988. Soil changes consequent upon the replacement of tropical rain forest by plantations of *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* and *Terminalia superba*. *Jour. of World Forest Resource Management* 3: 47-59.

AGUILAR L. 1985 Establecimiento de parcelas permanentes de aclareo y rendimiento para teca en la Reserva Forestal de Ticoporo. Tesis de grado. Escuela de Ingenieria Forestal. Mérida.

ALCESTE C. 1991. Dinámica de la descomposición de la hojarasca de teca (*Tectona grandis*) en la Reserva Forestal de Ticoporo Estado Barinas. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias. U.C.V.

ALEXANDER M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. AGT Editor. México. pp 491.

ALPIZAR L., H. FASSBENDER, J. HEUVELDOP, G. ENRIQUEZ & H. FOLSTER. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y con poro (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. I. Biomasa y reservas nutritivas. *Turrialba* 35 (3): 233-242.

ANDERSON JM. & JS INGRAM (edt). 1989. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods* CAB International. pp171.

ANDERSON J. & P. FLANAGAN. 1989. Biological processes regulating organic matter dynamics in tropical soils. En: *Dynamics of Soil Organic matter in Tropical Ecosystems*. Eds. D. Coleman, J. Oades and G. Uehara. Univ. Hawaii Press. Hawaii. pp.97-123.

ANDERSON J, P. FLANAGAN, E. CASWELL, D. COLEMAN, E. CUEVAS, D. FREKMAN J. ALLEN, P. LAVELLE & P. VITOUSEK. 1989. Biological processes in tropical soils. Chap.4. En: *Tropical soil organic matter*. Coleman D. & G. Urham Eds. Univ. of Hawaii Press.

ANDERSON J. & M. SWIFT. 1983. Decomposition in tropical forest. En: Sutton et al. (Eds). *Tropical Rain forest, Ecology and Management* 287-309. Blackwell Scien. Pub. Oxford.

ARAQUE Y & V. VERGARA. 1986. Caracterización cualitativa y cuantitativa de plantaciones en la Unidad Experimental (Ticoporo) y proposición de un rodal semillero para teca (*Tectona grandis*). Cuadernos del Comodato U.L.A. M.A.R.N.R . Facultad de Ciencias Forestales. pp.43.

AUBERT,G & J.BOULAIN.1980. La pédologie. Presses Universitaires de France. Paris. pp 126.

BABBAR L. & J.EWEL. 1989. Descomposición del follaje en diversos ecosistemas sucesionales tropicales. *Biotropica* 21(1):20-29.

BALBUENA O. 1980. Evaluación de plantaciones de la unidad II de la Reserva Forestal de Ticoporo en los Llanos Occidentales de Venezuela. Tesis de Maestría, Centro de Estudios Forestales de Postgrado. F.C.F., U.L.A, Mérida. pp 133.

BALLARD R. 1986. Phosphorus nutrition and fertilization of forest tree. En: The role of phosphorus in agriculture. Madison. American Society of Agronomy. pp. 763-804.

BELL T. 1973. Erosion in the Trinidad teak plantations. *Commonwealth Forestry Review*. 52(3). 153:222-233.

BENITEZ M. 1990. Evaluación del suelo en plantaciones de teca de la Reserva Forestal de Ticoporo. Grupo de trabajo Productividad, ecología y suelo en plantaciones forestales. Publicación # 2. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida.

BERISH C. 1982. Root biomass and surface area in three successional tropical forest. *Canadian Jour. For. Res* 12(3):699-704

BERISH C. & J.Ewel. 1988. Root development in simple and complex tropical successional ecosystems. *Plant and Soil* 106:73-84.

BERMEJO H. 1981. Los fertilizantes: su fabricación e importancia agrícola en Venezuela. Edición del CONICIT. Caracas. pp. 233.

BERNHARD-REVERSAT F. 1988. Soil nitrogen mineralization under a *Eucalyptus* plantation and *Acacia* forest in Senegal. *Forest Ecology and Management* 23: 233-244.

BERNHARD-REVERSAT F. 1987. Litter incorporation to soil organic matter in natural and planted tree stands in Senegal. *Pedobiología* 30:401-417.

BERNHARD-REVERSAT F. 1986. Le recyclage des éléments minéraux par la strate herbacée dans un peuplement naturel a *Acacia* et dans une plantation d'*Eucalyptus* au Senegal. *Acta Oecologica*, 7(4):353-364.

BERNHARD-REVERSAT F. 1982. Biogeochemical cycle of nitrogen in a semi-arid savanna. *Oikos* 38:321-332.

BERNHARD-REVERSAT F. 1975. Recherches sur l'écosystème de la forêt subéquatoriale de basse Côte d'Ivoire. VI. Les cycles des macroéléments. *La terre et la Vie*. 29:229-254.

BERNHARD-REVERSAT F. 1974. L'azote du sol et sa participation au cycle biogéochimique en forêt ombrophile de Côte d'Ivoire. *Rev. Ecol. Biol.Sol* 11(3):263-282.

- BHATNAR H.,B.GUPTA, B.RAUTHAN & D.JOSHI, 1969. Preliminary studies on the nutritional requirements of teak (*Tectona grandis*) Indian Forest. 95(7):488-495.
- BLACK C.1975. Relaciones suelo\_planta. Editorial Hemisferio Sur Argentina. pp 427.
- BOLAN N. 1991. A critical review on the rol of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. Plant and Soil 134: 189-207.
- BOLIN B.,T. ROSSWALL, J. RICHEY & J. FRENEY, 1983. C,N,P and S cycles: Major reservoirs and fluxes. In: The Major Biogeochemical cycles and their Interaction. Edited by B. Bolin and R. Cook.
- BOWEN G. 1984. Tree roots and the use of soil nutrients. En: Bowen G. & E.Nambiar (eds), Nutrition of plantation forests. Academic Press, New York. pp. 147-179.
- BOWEN G. & E.NAMBIAR (eds) 1984. Nutrition of plantation forests. Academic Press, New York. pp 516.
- BROWN S. & LUGO A, 1982. The storage and production of organic matter in tropical forest and their role in the global carbon cycle. Biotropica 14: 161-187.
- BOX,J. 1987. Uso de residuos de cosechas para mejorar el suelo. En: Manual de Fertilizantes. Sexta Edición. Colombia. pp 78
- BOYER J. 1978. Le calcium et le magnesium dans les sols des region tropical humides et sub-humides. Cahier ORSTOM.Paris.pp173
- BROWN S. & A.LUGO. 1990 Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and U.S. Virgin Islands. Plant and Soil 124, 53-64.
- BRUIJNZEEL L. & K.WIERSUM. 1985. A nutrient balance sheet for *Agathis dammara* plantation forest under various management conditions in central Java, Indonesia. Forest Ecology and Management 10: 195-208.
- BUKMAN H. & N. BRADY. 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. Editorial Montaner y Simon. Barcelona. pp 590.
- BUSCHBACHER R. 1986. Tropical deforestation and pasture development. BioScience. 36 (1):22-28.
- CASTILLO J.B. 1971. Estudio de los suelos de las áreas II y III de Ticoporo, en los altos llanos occidentales de Barinas. Instituto de Geografía y Conservación de los Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes, Mérida, pp 33.
- CLARKSON D. & J.HANSON 1980. The mineral nutrition of higher plants. A Rev. Plant. Physiol. 31:239-298.
- CANIZALES N. 1990. Caracterización de los suelos en cinco ensayos de fertilización con fosforita en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en la unidad II de la Reserva Forestal de Ticoporo, Edo. Barinas. Venezuela. Grupo de Investigaciones

Productividad, Ecología y suelos en plantaciones forestales industriales. Contribución N 1. pp. 40.

CARLYLE J. 1986. Nitrogen cycling in forested ecosystems. *Forestry Abstracts* 47:307-336.

COLEMAN D., C. COLE & E. ELLIOTT. 1984. Decomposition of organic matter turnover and nutrient dynamics in agroecosystems. En: Lawrance R., B.Stuner & G.House: *Agricultural Ecosystems*, 83-104.

COLEMAN D., C.REID & C.COLE. 1983. Biological strategies of nutrient cycling in the soil systems. *Adv. Ecol. Res.*13:1-55.

COLLINS J. 1986. Smallholder settlement of tropical south America: the social causes of ecological destruction. *Human Organization*, vol 45, (1),1-10.

CONTRERAS G. 1986. Actualización de la clasificación de la calidad de sitio para teca, Reserva Forestal de Caparo. Tesis. F.C.F. U.L.A. Mérida. Venezuela. pp 51.

CORNFORTH I. 1970. Reafforestation and nutrient reserves in the humid tropics. *Jour. Apli. Ecol.* 7:609-615.

CUEVAS E., 1983. Crecimiento de raíces finas y su relación con los procesos de descomposición de materia orgánica y liberación de nutrientes en el bosque del Alto Río Negro en el Territorio Federal Amazonas. Tesis de grado Ph. Sc. I.V.I.C. Venezuela.

CUEVAS E. & E. MEDINA. 1991. Phosphorus /Nitrogen interactions in adjacent Amazon forest with contrasting soils and water availability. pp. 84-94. En H. Tiessen, D. Lopez-Hernandez & I. Salcedo. *Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems. Regional Workshop 3: South and Central America.*

CUEVAS E., S.BROWN & A.LUGO. 1991. Above and belowground organic matter storage and production in a tropical pine plantation and a paired broadleaf secondary forest. *Plant and Soil* 135: 257-268.

CUEVAS E., W.FRANCO & D.LOPEZ-HERNANDEZ. 1989. Uso de plantaciones forestales mono-específicas y su efecto en los procesos biológicos del suelo y la disponibilidad de nutrientes. Plan de Estudio. T.S.B.F, M.A.B/UNESCO-IUBS.

CUEVAS E. & E. MEDINA. 1988. Nutrient dynamics within amazonian forest.II. Fine root growth, nutrient availability and leaf decomposition. *Oecologia* 76:222-235.

CUEVAS E. & E.MEDINA. 1986. Nutrient dynamics in amazonian forest ecosystems. I. Nutrient flux in fine litter fall and efficiency of nutrient utilization. *Oecologia* 68:466-472.

CUEVAS E. & E.MEDINA. 1983. Root production and organic matter decomposition in a Tierra Firme forest of the upper Rio Negro basin. En: *Wurzelökologie und Ihre Nutzenanwendung. Int. Symp. Gumpenstein.* pp 653-666.

CHATUVERDI O. & J.SINGH. 1987. The structure and function of pine forest in Central Himalaya.II Nutrient dynamics. *Annals of Botany* 60:253-267.

- DABIN B. 1981. Les sols tropicaux acides. Cah.ORSTOM, Serie Pédologie, 21(1):7-19.
- DEVLIN R. 1976. Fisiología vegetal. Ediciones Omega S.A. Barcelona. España.
- DIAZ C. 1991. Dinámica de la materia orgánica, nutrientes y regimen del agua en el suelo en tres ecosistemas forestales (bosque natural intervenido, plantación de teca y pino) en la Reserva Forestal de Ticoporo. Edo. Barinas, Venezuela. Tesis M.S. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida.
- DIAZ C y W. FRANCO. 1988. Estudio del impacto de la transformación del bosque natural en plantación forestal sobre la materia orgánica del suelo. Informe CDCH. U.L.A. Merida. Venezuela.
- DOMMERMUES Y. 1985. Sols-Microbiologie. Encyclopoedia Universalis Corpus 16. Editeur Paris. France.
- DOMMERMUES Y, 1963. Les cycles biogéochimiques des éléments minéraux dans les formations tropicales. Bois et Forets des tropiques 87:9-25.
- DUCHAUFOR Ph. 1990. La formation et l'evolution des complexes organo-mineraux dans les sols et leur role dans la pedogenese. Science du sol 28(4): 273-284.
- DUCHAUFOR Ph. 1970. Precis de Pedologie.Masson et Cie.Paris.
- DUXBURY J., M.SMITH & J.DORAN. 1989. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. Chap.2. En:Coleman D., J. Oades & G.Uehara. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Univ. of Hawaii Press.
- EDWARDS P & P GRUBB. 1982. Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea. IV.Soil characteristics and the divisions of mineral elements between the vegetation and the soil. Journal of Ecology, 70, 649-666.
- EDWARDS P.1982. Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea. V. Rates of cycling in throughfall and litterfall. Journal of Ecology, 70, 807-827.
- EGUNJOBI, J. 1974. Litter fall and mineralization in a teak stand Oikos 25: 222-226.
- FASSBENDER,H & E. BORNEMISZA. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA. pp 420.
- FASSBENDER H., L. ALPIZAR, J.HEUVELOP, G.ENRIQUEZ & H.FOLSTER.1985 Sistemas agroforestales de café (Coffea arabica) con laurel (Cordia alliodora) y café con poro (Erythrina poeppigiana) en Turrialba, Costa Rica. III. Modelos de la materia orgánica y los elementos nutritivos. Turrialba vol.35, 4, 403-413.
- FASSBENDER H. & U.GRIM. 1981. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela.II. Producción y descomposición de residuos vegetales. Turrialba 31 (1):39-47.
- FOTH H. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. Editorial Continental. Mexico. pp 433.

FRANCO W. 1991. Evaluación preliminar del rendimiento de las plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en la Unidad II de la Reserva Forestal de Ticoporo, Llanos Occidentales de Venezuela. Publicación del Proyecto de Investigación en Plantaciones Industriales financiado por CDCH-ULA, CONTACA, FOSFASUROESTE y CVG-PROFORCA.

FRANCO W. 1989. Perspectivas de las plantaciones forestales en Venezuela y del uso de la fosforita en la producción forestal. En Primer Seminario de Fósforo en la Agricultura Venezolana. 25 al 27 de enero. Caracas, Venezuela.

FRANCO W. 1988. Incorporación de los estudios de suelo como instrumento de manejo forestal en Venezuela. En: Curso sobre investigación y manejo forestal en Venezuela. C.I.D.I.A.T.M\_rida.

FRANCO W. 1982. Estudio y levantamiento de sitios en la Unidad I de la Reserva Forestal de Caparo. Facultad de Ciencias Forestales U.L.A. Mérida.

FRANCO W. 1979. Producción de hojarasca en varios tipos de bosques de Caparo; su ritmicidad durante el año, su composición química, su relación con el mantillo orgánico. Mérida, Facultad de Ciencias Forestales, Instituto de Silvicultura, U.L.A. pp 11

FRANKART R. 1990. Les sols acides des écosystèmes humifères d'altitude du Rwanda et du Burundi. Aspect pedo-agronomiques. Bull.Seanc. Acad. Sci. Outre-mer.35(1989-4):495-531.

GACHON L. 1985. Fertilité des sols. Encyclopaedia Universalis. Corpus 7. Editeur Paris, France.

GALLARDO J., I.SANTA REGINA & C.SAN MIGUEL. 1989. Ciclos biogeoquímicos en bosques de la Sierra de Béjar (Salamanca, España). Rev. Ecol. Biol. sol. 26: 35-46.

GARAY I. 1987. Etude d'un ecosysteme forestier mixte. II.Les sols Rev. Ecol. Biol. Sol 17(4):525-541.

GEIGEL F. 1977. Materia orgánica y nutrientes devueltos al suelo mediante la hojarasca de diversas especies forestales. Revista Forestal Baracoa 7:15-38.

GLADSTONE W. & F. LEDIG. 1990. Reducing pressure on natural forest through high\_yield forestry. Forest Ecology and Management 33/34:69-78.

GOLLEY F., J. YANTRO, T. RICHARDSON & H. KLINGE. 1980. Biogeochemistry of tropical forest: 1: The frequency distribution and mean concentration of selected elements in a forest near Manaus, Brazil. Tropical Ecology, Vol 21. 1: 59-70.

GOLLEY F., J. MCGINNIS, R. CLEMENTS, G. CHILD & M. DENVER. 1975. Mineral cycling in a tropical moist forest ecosystems. University of Georgia Press. Athens, Georgia.

GOLLEY F., J. YANTRO, T. & C. JORDAN. 1980. Biogeochemistry of tropical forest: 2: The frequency distribution and concentration of selected elements near San Carlos de Rio Negro, Venezuela. Tropical Ecology, Vol 21. 1: 71-80.

GOLLEY F. 1983. Nutrient cycling and nutrient conservation. En: F. Golley (ed). Tropical Rain Forest Ecosystem. Elsevier Scientific Pub. Co. Amsterdam.

- GONZALEZ-ABREU A., A.RENDA, F.GIERGEL, T.QUINTANA & A.PERERA.1985 Algunas características de la materia orgánica en los suelos forestales de la cuenca del río San Diego. *Revista Forestal Baracoa*. 15(1):7-18.
- GONZALEZ ITURBE,J.1988. Contenido de nutrientes en un selva alta perennifolia. Tesis Profesional. Mexico, D.F.
- GORHAM E., P.VITOUSEK & W. REINERS. 1979. The regulation of chemical budgets over the course of terrestrial ecosystem sucesion. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 10:53-84.
- GOWER S. 1987. Relations between mineral nutrient availability and fine root biomass in two Costa Rican tropical wet forest: a hypothesis. *Biotropica* 19:171-175.
- GREENLAND D. & P.NYE. 1959. Increases in carbon and nitrogen contents of tropical soil under natural fallows. *Journal of Soil Science* 10:284-299.
- GRIMM U. & H. FASSBENDER. 1981. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. I. Inventario de las reservas orgánicas y minerales (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Al, Na). *Turrialba*. 31 (1):27-37.
- GRUBB P. & P. EDWARDS. 1982. Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea. III.The distribution of mineral elements inthe above ground material. *Journal of Ecology*, 70, 623-648.
- HASE H. & H. FOELSTER. 1982. Estado nutricional de las plantaciones de Teca en la Reserva Forestal de Caparo. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes.
- HASE H. 1981. Estudio de nutrientes en suelos de banco en la Reserva Forestal de Caparo, bajo especial consideracion de su uso para plantaciones de Teca. Tesis Doctoral. Universidad de Gottingen . Alemania Occidental.
- HASE H. & H. FOELSTER. 1983. Impact of plantation forestry with Teak (*Tectona grandis*) on the nutrient status of young alluvial soils in West Venezuela. *Forest Ecology and Management* 6:33-57.
- HELLER R. 1985. *Abrege de Physiologie Vegetale:nutrition*. Masson Paris, France. pp 244.
- HERNANDEZ R. 1989. Nutrición mineral. Escuela de Ciencias Forestales. Departamento de Botanica.F.C.F. U.L.A. M\_rida. pp.81.
- HERRERA R., T.MERIDA & C.JORDAN. 1978. Direct phosphorus transfer from leaf litter to roots. *Naturwissenschaften* 65.
- HILTON G. 1987. Nutrient cycling in tropical rain forest, implications and sustained yield. *Forest Ecology and Management*, 22:297-300.
- HOLT J. & A. SPAIN. 1986. Some biological and chemical changes in a North Quesland soils following replacement of rain forest with *Araucaria cunninghaamii*. *Jou. Applied Ecology* 23:227-237.
- INGESTAD T. 1987. New concepts in soil fertility and plant nutrition as ilustrated by research on forest trees and stands. *Geoderma* 40:237-253.

- JACKSON M. 1968. Análisis químico de suelos. Edt. Omega. Barcelona, España. pp. 662.
- JEFFREY 1987. Soil-plant relationships an ecological approach. Timber-Press, Portland. pp. 295.
- JENNY H. 1950 Causes of the high nitrogen and organic matter contents of certain tropical forest soils. Soil Sciences 69(1):63-69.
- JONES M. & R. WOODMANSEE. 1979. Biogeochemical cycling in annual grassland ecosystems. The Botanical Review 45:111-144.
- JORDAN C. 1983. Productivity of tropical rain forest ecosystems and the implications for their use as future wood and energy sources. pp 117-136. En F. Golley editor. Tropical rain forest ecosystems: structure and function. Volume 14A. Elseviers, Amsterdam, The Netherlands.
- JORDAN C. & R. HERRERA. 1981. Tropical Rain forest: are nutrients really critical. The American Naturalist 117: 167-180.
- JORDAN C. & G. ESCALANTE. 1980. Root productivity in an Amazonian Basin. Ecology 61:14-18.
- JORDAN C. & J. KLINE. 1972. Mineral cycling: some basic concepts and their applications in a tropical rain forest. Ann. Rev. Ecol. Syst. 3:33-50.
- JOSE A. & M. KOSHY. 1972. A Study of the morphological, physical and chemical characteristics of soils as influenced by teak vegetation. Indian Forester 98: 338-348.
- KADEBA O. 1991. Above ground biomass production and nutrient accumulation in age sequence of Pinus caribaea stands. Forest Ecology and Manegement, 41: 237-248.
- KARLOVSKY J. 1981. Cycling of nutrient utilisation by plants in agricultural ecosystems. Agro-Ecosystems 7:127-144.
- KAUL O., A.GUPTA & J.NEGI, 1972. Diagnosis of mineral deficiencies in teak (Tectona grandis) seedlings. Indian Forester 98:173-177.
- KAUL O., D.SHARMA, V. TANDON & P.SRIVASTAVA. 1979. Organic matter and plat nutrients in a teak (Tectona grandis) plantation. Indian Forester. 105:573-582.
- KELLMAN M. 1989. Mineral nutrient dynamics during savanna-forest transformation in Central America. pp. 137-151. En J. Proctor Editor. Mineral nutrient in tropical forest and savanna ecosystems. Special publications series of the British Ecological Society. Number 9.
- KELLMAN M. 1979. Soil enrichment by neotropical savanna trees. Jou. Ecology. 67:565-577.
- KISHORE N. 1987. Preliminary studies on the effect of phosphatic fertilizers on teak plantation. Indian Forester 113(6):391-394.

KLINGE H & R. HERRERA 1978. Biomass studies in Amazon caatinga forest in southern Venezuela. I. Standing crop of composite root mass in selected stands. Trop. Ecol. 9:93-110.

KONONOVA M. 1961. Materia orgánica del suelo; su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Ediciones Oikos-tau, versión castellana 1982; traducción E. Bordas. España. pp 365.

KUO S. & E. JELLUM. 1987. Influence of soil characteristics and environmental conditions on seasonal variations of water soluble phosphate in soils. Soils Science, 143 (4):257-263.

LARCHER W. 1977. Ecofisiología vegetal. Ediciones Omega. Barcelona. España. pp. 305.

LAVELLE P. 1987. Interactions, hiérarchies et régulations dans le sol: \_ la recherche d'une nouvelle approche conceptuelle. Revue Ecol. Biol. Sol. 24 (3):219-229.

LEVY G. 1988. Appréciation de la fertilité du sol; diagnostics en forêt. Revue Forestiere Francaise, numéro spéciale.

LOPEZ-HERNANDEZ I. & D. FLORES. 1979. La desorción de fosfatos en suelos. Implicaciones fisiocológicas en el proceso. Acta Cien. Venezolana 30:23-35.

LOPEZ-HERNANDEZ I. 1977. La química del fósforo en suelos ácidos. Edic. Biblioteca U.C.V. pp 123.

LONSDALE, W. 1988. Predicting the amount of litterfall in forest of the world. Annals of Botany, 61;319-324.

LOUSIER J & D. PARKINSON. 1978. Chemical element dynamics in decomposing leaf litter. Can. Jou. Bot. 56:2792-2812.

LUGO A., E. CUEVAS & M. J. SANCHEZ. 1990. Nutrients and mass in litter and top soil of ten tropical tree plantations. Plant and Soil 125, 263-280.

LUGO A., M. J. SANCHEZ & S. BROWN. 1986. Land use and organic carbon content of some tropical soils. Plant and soil 96:185-196.

LUNDGREN B. 1978. Soil conditions and nutrient cycling under natural and plantation forest in tanzania highlands. Report in Forest Ecology and Forest soil, 31. Swedish Uni. of Agri. Sciences. Uppsala.

MAHEUT J & Y. DOMMERGUES, 1960. Les Teckeraies de Casamances; capacite de production des peuplements, caracteristiques biologiques et maintien du potentiel productif des sols. Bois et Forets des Tropiques 70: 25-42.

MALAVOLTA E. 1980. La nutrición mineral de algunas cosechas tropicales. Editores: Instituto Internacional de la Potasa. Berna.

MANIL G. 1985. Les Sols. Encyclopoedia Universalis. Corpus 11. Editeur Paris, France.

McGILL W & C.COLE, 1981. Comparative aspects of cycling of organic C,N,S and P through soil organic matter. *Geoderma* 26:267-286.

MEDINA E. 1984. Nutrient balance and physiological processes at the leaf level. En: Medina E., H. Mooney & C. Vasquez Yanes Editores. *Physiological ecology of plants of the wet tropics*. Le Hague. pp. 254.

MEDINA E. 1982. Nitrogen balance in the trachypogon grasslands of Central Venezuela. *Plant and Soil* 67:305-314

MEDINA E. & F. SILVA. 1990. Savannas of northern South America: a steady state regulated by water-fire interactions on a background of low nutrient availability. *Journal of Biogeography* 17:403-413.

MEDINA E. & E.CUEVAS. 1989. Patterns of nutrient accumulation and release in amazonian forest of the upper Rio Negro basin. En: *Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems*. Eds Proctor, Special publication (9) of The British Ecological Society, pp 217-240.

MEDINA E. & H. KLINGE. 1983. Productivity of tropical forest and tropical woodlands. In: *Physiological plant ecology IV. Encyclopedia of plant physiology new series*. Vol 120. Ed. Lange, Nobel, Osmond and Ziegler. Springer-Verlag. Germany.

MORRIS, J. 1983. A review of decomposition and reduction of soil organic matter in tropical african biomes. *Jou. S. Afr. Bot.* 49(1):65-78.

NAMBIAR E. 1984. Plantation forest: Their scope and perspective on plantation nutrition. En: Bowen G. & E.Nambiar (eds), *Nutrition of plantation forest*. Academic press. London.

NATH S.M.BANERJEE, G.CHATHORAJ, S.GANGULY, P.DAS& S.BANERJEE.1988 Changes in soil attributes consequent upon differences in forest cover in a plantation area. *J. Indian. Soc Soil. Sci.*36:515-521.

NWOBOSHI L. 1980. Nitrogen cycling in a teak plantation ecosystem in Nigeria. pp.353-361. En T. Rosswall editor. *Nitrogen cycling in West African ecosystems*. SCOPE-UNEP. Stockholm, Sweden.

NYE P. & D.GREELAND. 1960. The soil under shifting cultivation. *Technical Communication* 51. Commonwealth bureau of soil, England

OADES J.M., G.GILLMAN & G. UEHARA. 1989. Interactions of soils organic matter and variable charge clays. En: *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Coleman D., J. Oades & G. Uehara. Univ. of Hawaii Press.

ODUM E. 1972. *Ecología*. Editorial Interamericana. México.

PAREDES J. 1988. Evaluación de las plantaciones de teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*) en la unidad experimental de la Reserva Forestal de Ticoporo (Estado Barinas). Cuadernos del Comodato-UJA-MARNR. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida.pp.52

- PRITCHETT, W. 1986. Suelos Forestales, propiedades, conservación y mejoramiento. Editorial Limusa. México. pp 634.
- PROCTOR, J. 1987. Nutrient cycling in primary and old secondary rainforest. *Appl. Geography* 7:135-152.
- PUIG H. & J. Ph. DELOBELLE. 1988. Production de litiere, necromase, apport minéraux au sol par la litiere en foret guyanaise. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, vol.43.
- RAET G. 1987. Bibliografia seleccionada: teca (*Tectona grandis*). Volumenes I y II. Instituto Forestal Latinoamericano. Mérida. Venezuela.
- RICHARDS P. 1952. The tropical rain forest. Cambridge. Univer. Press, Cambridge. pp 450.
- RIES S. 1988. Le compartiment racines d'un taillis de Chataigniers (*Castanea sativa*) du Sud-Est de la France: biomasse, structure et évolution. These Docteur 3eme cycle. Université Scientifique, Technologique et médicale de Grenoble.
- ROJAS J. & I. REYES. 1989. Impacto de las rocas fosfóricas sobre la microbiología del suelo y del efecto de microorganismos en un uso más eficiente del fósforo por las plantas. En: Primer Seminario de Fósforo en la agricultura Venezolana. Caracas, Vzla.
- ROSWALL, T. 1982. Microbial regulation of the biogeochemical nitrogen cycle. *Plant and Soil* 67, 15-34.
- ROTINI O. 1977. L'importance de la matiere organique pour la productivite des sols dans la region mediterraneene au cours de l'histoire. In: Soil organic matter studies; Proceedings of a symposium Inter Atomic Energy, Vienna, p 3-7.
- SALAS, G de LAS. 1984. Aspectos sobre la reforestación y el balance nutricional en los tropicos. IFLA. *Rev. For. Lat.* 2, 84.
- SALAS, G de LAS. 1987. Suelos y ecosistemas forestales; con énfasis en América Tropical. San Jose, Costa Rica; IICA, 450p.
- SALINAS J., A. FERRUFINO & A. ALVARADO. 1991 Phosphorus cycling in tropical pastures. En: Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems. Regional Workshop 3: South and Central America. Edited by: H. Tiessen, D. Lopez-Hernandez and I. Salcedo.
- SANCHEZ P. 1987. Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. En: *Agroforestry a decade of development*. Eds. Stepller H. & P. Ramachandran. CRAF. Nairobi, Kenya. pp207-223.
- SANCHEZ P. 1976. Properties and management of soils in the tropics. A Willey-Interscience Publication.
- SANCHEZ, P. 1973. Un resumen de las investigaciones edafológicas en la América Tropical. North Carolina State University. Technical Bulletin 219.

SANCHEZ P., C. PALM, L. SZOTT, E. CUEVAS & R. LAL. 1989. Organic input management in tropical agroecosystems. Chap. 5. En: Tropical Soil Organic Matter. Eds. D. Coleman & G. Uehara. University Hawaii Press.

SANCHEZ P., C. PALM, C. DAVEY, L. SZOTT & C. RUSSELL. 1985. Free crops as soil improvers in the humid tropics?. En: In attributes of trees as crop plants. Cannell and Jackson eds. Institute of terrestrial Ecology Natural Environment Research Council.

SANTA REGINA I., J. GALLARDO & C. SAN MIGUEL. 1989. Ciclos biogeoquímicos en bosques de la Sierra de Béjar (Salamanca, España). 3. Descomposición de la hojarasca. Rev. Ecol. Biol. Sol, 26 (4): 407-416.

SARMIENTO, G. 1984. Los ecosistemas y la ecosfera. Editorial Blume ecología. Barcelona. pp 268.

SETH S & O. KAUL. 1980. Ecosistemas forestales tropicales de la India: los bosques de teca, estudio de silvicultura y ordenación. En: Ecosistemas de los bosques tropicales. UNESCO-FAO-PNUMA 708-723

SINGH K.P. 1989. Mineral nutrients in tropical dry deciduous forest and savanna ecosystems in India. En: Mineral Nutrients in tropical forest and savanna ecosystems. Eds. J. Proctor. British ecological Society. Number 9.

SINGH K. 1968. Litter production and nutrient turnover in deciduous forest of Varanasi. Proc. Symp. Rec. Adv. Trop. Ecol. 2:655-666.

SINGH S, P. BANARJEE & B. SINGH. 1987. Effect on vegetation covers on the nutrient status of soil. J. India Soil Sci. Vol 35:232-237.

SING K. & K. SRIVASTAVA. 1985. Seasonal variations in the spatial distribution of root tips in teak (*Tectona grandis*) plantations in the Varanasi Forest Division, India. Plant and Soil. 84:93-104

SINGH A. & R. AMBASHT. 1980. Production and decomposition rate of litter in a teak (*Tectona grandis*) plantation at Varanasi (India) Rev. Ecol. Biol. Sol. 17(1): 13-22.

SOIL SCIENCE SOCIETY. 1965. Glossary of soil science terms. Society of America Proceedings. Vol 29. No 3, 330-351.

SOLARZANO P. 1989. Efecto de las prácticas agrícolas sobre el tipo y forma de aplicación de los fertilizantes fosforados. En: Primer seminario de Fósforo en la agricultura Venezolana. Caracas

SRIVASTAVA S., K. SINGH & R. UPADHYAY. 1986. Fine root growth dynamics in teak (*Tectona grandis*). Can. Jou. For. Res. 16:1360-1364.

STEVENSON G. & H. ELLIOT. 1989. Litter in soil organic matter. En D. Coleman, J. Oades & G. Uehara. Edt. Soils Organic Matter in tropical ecosystems. Univ. of Hawaii Press. Hawaii.

SWIFT M. & P. LAVELLE (eds). 1987 Processus biologiques et fertilité des sols tropicaux. Biology International, Special Issue 14.

- SWIFT M. & P. SANCHEZ. 1984. Biological management of tropical soil fertility for sustained productivity. *Nature and Resources*, 20 (4): 2-10.
- SWIFT M., O. HEAL & J. ANDERSON (eds). 1979. 1. Decomposition processes in terrestrial ecosystems. 2. The decomposition subsystem. En: *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. California Press. *Studies in Ecology*. Volume 5.
- SZOTT L. 1991. Phosphorus cycling in humid tropical sucesional forest. En: *Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems. Regional Workshop 3: South and Central America*. Eds. H Tiessen, D. Lopez-hernandez e I. Salcedo.
- SZOTT L. & Ch.PALM, 1984. Soil and vegetation dynamics in shifting cultivation fallows. En *Primer simposium del tropico húmedo*, Belem, Para.
- TAMHANE, R., D. MOTIRAMANI y P. BALI. 1978. Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales. Editorial Diana Mexico. pp483.
- TANGLEY L. 1986. Saving tropical forest. *BioScience*. Vol 36. 1:4-8
- TANNER E. 1985. Jamaican montane forest: nutrient capital and cost of growth. *Journal of Ecology* 73:553-568.
- TANNER E. 1981. The decomposition of leaf litter in Jamaican montane rain forest. *Journal of Ecology* 69: 263-275.
- TANNER E. 1980. Studies on the biomass and productivity in a series of montane forest in Jamaica. *Journal of Ecology*, 68, 573-588
- TANNER E, V.KAPOS, S.FRESKOS, J.HEALEY & A.THEOBALD. 1990. Nitrogen and phosphorus fertilization of Jamaican montane forest trees. *Journal of Tropical Ecology*. 6:231-238.
- TATE K. & I.SALCEDO. 1988. Phosphorus control of soil organic matter accumulation and cycling. *Biogeochemistry* 5:99-107.
- TEJEDOR M., E.FERNANDEZ & P.QUANTIN. 1978. Sequence climatiques des sols recent de la region septentrional de Tenerife (Iles Canaries). I. *Ecologie, morphologie, caracter phisico-chimiques*. Cah. ORSTOM, ser. Pedo. Vol. XVI, n3, 251-264.
- TIESSEN H, 1991. Characterisation of soil phosphorus and its availability. En *Trends in Soil Science*. Scientific Council for Research Coordination, India.
- TOUTAIN, F. 1987. Les litières: sieges de systemes interactifs et moteur de ces interactions. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 24(3):231\_242.
- UHL C. & C.JORDAN. 1984. Sucesion and nutrient dynamics following forest cutting and burning in Amazonia. *Ecology* 65:1476-1490.
- UMAÑA J.L. 1983. Calidad de sitio en plantaciones de teca en la Reserva Forestal de Ticoporo. Tesis de Maestria. Post-grado de la Escuela de Ingenieria Forestal. F.C.F.; U.L.A. M\_rida. pp 52.
- URRUTIA M., E. GARCIA y F. MACIAS. 1989. Determinación del pH en suelos de carga variable de Galicia. *Ann. Edaf. Agrobiologicas*: 48:219-228.

- VEILLON J.P. 1989. Los bosques naturales de Venezuela. Tomo I. Instituto de Silvicultura. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela.
- VEILLON J.P. 1976. Las deforestaciones en los llanos occidentales de Venezuela, desde 1950 hasta 1975. En: Conservación de los bosques húmedos de Venezuela. Sierra Club. Consejo de Bienestar Rural.
- VITOUSEK P. 1982. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *The American Naturalist* 119: 553-572.
- VITOUSEK P. 1984. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forest. *Ecology* 65:285-298.
- VITOUSEK, P & P. MATSON. 1988. Nitrogen transformations in a range of tropical forest soils. *Soil Biol. Biochem* Vol 20, 3 : 361-367.
- VITOUSEK, P & R. SANFORD. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 17:137-167.
- VITOUSEK P & W REINERS. 1975. Ecosystems succession and nutrient retention: a hypothesis. *Bioscience* 25:276-281.
- VOGT K., C. GRIER & D. VOGT. 1986. Production, turnover and nutrient dynamics of above and belowground detritus of world forests. *Advances in Ecological Research* 15:303-366.
- WEAVER P., R. BIRDSEY & A. LUGO. 1987. Soil organic matter in secondary forest of Puerto Rico. *Biotropica* 19(1):17-23.
- WHITTAKER R & P MARKS. 1975. Methods of assessing terrestrial productivity. pp . 55-118. En H. Leith & R. Whittaker. *Primary productivity of the biosphere. Ecological studies*, 14.
- WOOMER, P & S, INGRAM. 1990. Report of the tropical soil biology and fertility programme. TSBF. UNESCO-Rosta. Kenya.
- YAMAKURA T. & P. SAHUNALU. 1990. Soil carbon/nitrogen ratio as a site quality index for some South-east Asian forests. *Journal of Tropical Ecology* 6:371-378.
- ZINCK A. 1986. Características y fragilidad de los suelos en ambiente de selva nublada: el ejemplo de Rancho Grande. En: *La Selva Nublada de Rancho Grande*. Editor O. Huber. Caracas.

ALGUNOS CRITERIOS PARA LA INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELOS

pH (1)	pH (2)		
4.0-5.0 muy acido	extremadamente acido	<-4.5	
5.0-5.5 acido	fuertemente acido	4.5-5.2	
5.5-6.5 lige'acido	moderadamente acido	5.3-5.9	
6.5-7.5 casi neutro	ligeramente acido	6.0-6.5	
7.5-8.5 lige'alcalino	neutral	6.6-7.0	
> 8.5 muy alcalino	ligeramente alcalino	7.1-7.5	
	moderadamente alcali'	7.6-8.3	
	fuertemente alcalino	8.4-9.0	
	extremadamente alcal'	>-9.0	
(1)			
C.O.%	N.t.%	C/N	
0 - 1	0 - 0.1	< 7	muy bajo
1 - 1.5	0.1- 0.15	7-9	bajo
1.5 - 2.5	0.15- 0.25	9-12	medio
2.5 - 4.0	0.25- 0.30	12-19	alto
> - 4.0	>- 0.30	> 20	muy alto
(2)			
C.O.%	N.t.%	C/N	
< - 0.5	< - 0.5	< 7	muy bajo
0.5- 1.9	0.05- 0.2	7-9	bajo
1.9- 2.8	0.20- 0.3	10-12	medio
2.8- 4.9	0.30- 0.5	13-19	alto
4.9- 7.9	0.50- 0.8	> 20	muy alto
(1) y (2)			
Bases intercambiables			(meq/100g)
K	Ca	Mg	
< 0.2	< 2	< 0.3	muy bajo
0.2-0.3	2-5	0.3-1.0	bajo
0.3-0.6	5-10	1-3	mediano
0.6-1.2	10-20	3-8	alto
> 1.2	> 20	> 8	muy alto
FUENTES:			
(1): Centro Interamericano de Aguas y Tierras Manual de analisis de suelos y aguas.			
(2): Instituto de Investigaciones Agropecuarias Laboratorio de Quimica Agricola. U.L.A.			

A N E X O 1

ANALISIS DE SUELO EN UN RODAL DE 15 AÑOS  
 EN LA UNIDAD DE MANEJO II, CONTACA,  
 RESERVA FORESTAL DE TICOPORO (Fuente: Diaz y Franco, 1987)

---

Suelos "distropepts óxicos isohipertémicos arcillosos"

	PROFUNDIDAD		
	0 - 25cm.	25 - 100cm.	100 - 150cm.
% arena	23	13	27
% limo	49	37	43
% arcilla	28	50	30
Dens' apar' g/cm <sup>3</sup>	1.29	1.39	1.32
% materia orgánica	2.91	1.04	0.40
pH (agua)	6.19	5.71	5.62
Nitrógeno %	0.108	0.058	0.058
Fósforo ppm.	2.5	2.0	1.0
Potasio meq/100g	0.21	0.16	0.08
Calcio meq/100g	3.63	0.45	0.45
Magnesio meq/100g	3.49	1.74	1.74
C.E.C. meq/100g	7.33	2.35	2.27

A N E X O 2

DESCRIPCION DE LOS SUELOS  
EN PLANTACIONES DE TECAS (Fuente: Diaz, 1991)

Profundidad 0 - 9cm.  
Horizonte Ah1

Pardo amarillento oscuro (10YR3/4); franco arenoso fino (15% arcilla, 20% limo, 60% arena fina) granular, muy fina, pero material coherente, friable; nódulos de Mn, finos, blandos y abundantes; ligeramante compacto hacia la base; carbón abundante; raicillas nuevas abundantes; pedotúbulos y excrementos de lombrices abundantes.

Profundidad 9 - 25cm.  
Horizonte Ah2

Pardo amarillento oscuro (10YR5/4); franco arcilloso granular, muy fina, coherente y en sectores blocosa angular muy fina, fuerte; nodulos muy finos y muy abundantes; raices finas, medias y gruesas abundantes.

Profundidad 25 - 90cm.  
Horizonte Bw (B21)

Rojo (2.5YR4/6); arcilloso (50% A, 37% L, 13% arena muy fina) blocosa angular, fina a media, fuerte, porosa; nódulos finos, abundantes de 25-30 cm y frecuentes hacia abajo; hasta 60 cm raices finas y medias frecuentes, luego pocas.

Profundidad 90 - 150cm.  
Ah fósil  
90 - 100cm.  
Horizonte (Bwg)  
(B22g)

Amarillo parduzco (10YR6/8), rojo plintita (2.5YR4/8) y amarillo pálido (2.5YR7/4); franco arcilloso (30% A, 43% L, 27% arena fina); blocosa angular media a grande, fuerte, (agregados duros y coherentes); películas de Mn frecuentes; suelo abigarrado con sectores amarillo parduzco, rojo y amarillo pálido; antiguo sedimento afectado por fuerte saturación en épocas de lluvias. Raíces finas y frecuentes en la mitad superior del horizonte.

A partir de 180 cm. muy compactado y aumentan las películas de Mn.

A N E X O 3