

# suelos de las regiones tropicales húmedas de tierras bajas

efectos causados por  
las especies de crecimiento rápido



ORGANIZACION  
DE LAS  
NACIONES UNIDAS  
PARA LA  
AGRICULTURA  
Y LA  
ALIMENTACION

# Suelos de las regiones tropicales húmedas de tierras bajas

efectos causados por  
las especies de crecimiento rápido

por

**E.O. Chijioke**

Becario de investigación André Mayer

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

M-33

ISBN 92-5-300972-1

Reservados todos los derechos. No se podrá reproducir ninguna parte de esta publicación, ni almacenarla en un sistema de recuperación de datos o transmitirla en cualquier forma o por cualquier procedimiento (electrónico, mecánico, fotocopia, etc.), sin autorización previa del titular de los derechos de autor. Las peticiones para obtener tal autorización, especificando la extensión de lo que se desea reproducir y el propósito que con ello se persigue, deberán enviarse al Director de Publicaciones, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.

© FAO 1984

## RESUMEN

Con objeto de evaluar los efectos de las plantaciones de monocultivo de las especies arbóreas de crecimiento rápido sobre los suelos de las regiones tropicales húmedas de tierras bajas se han comparado las condiciones del suelo del bosque natural con las de las plantaciones. Se ha medido la cantidad de elementos nutritivos contenidos en los árboles enteros o en la madera de tronco en determinadas edades, así como las reservas totales y disponibles contenidas en el suelo, para tratar de determinar los efectos de una explotación regular sobre el potencial de suelo en las futuras rotaciones.

Los análisis de las muestras de árboles sugieren que los elementos nutritivos inmovilizados en cantidades más grandes por Gmelina arborea y Pinus caribaea son el potasio, el calcio y el nitrógeno. Si bien en las masas de Gmelina de cinco a seis años de edad, el potasio parece ser el elemento nutritivo más importante, para el crecimiento del pinq, el calcio parece ser que sea el elemento de mayor importancia.

Las investigaciones efectuadas sugieren que la productividad de los suelos sobre sedimentos de textura ligera de las tierras bajas tropicales es afectada más gravemente debido a la inmovilización de los elementos nutritivos como resultado de una ordenación intensiva, que la de los suelos más pesados, especialmente los de origen de complejo basal. Quizá sea necesario adoptar diferentes procedimientos de ordenación para los dos tipos de suelo.

Se recomienda efectuar un estudio integrado de carácter continuo de los cambios de los suelos - biológicos, químicos y físicos - para poder determinar los factores que afectarán a los rendimientos de las futuras rotaciones de monocultivos de diferentes especies y, también, poder disponer de una base para establecer las políticas de ordenación más apropiadas para las plantaciones de dicho tipo.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación por haberme concedido esta beca de estudio, y al Instituto de Investigación Forestal de Nigeria por el apoyo que ha prestado a mi solicitud y por haberme concedido permiso para ausentarme durante la duración de la beca. Quiero expresar mis gracias especialmente a la Sección de Becas de la FAO por las disposiciones administrativas adoptadas y a la Subdirección de Ordenación de Recursos Forestales por su asesoramiento técnico.

Quiero igualmente hacer constar mi gratitud al "Department of Forestry", de la Universidad de Oxford por su hospitalidad para esta beca, y especialmente al Dr. L. Leyton, quien ha dirigido y supervisado el estudio y examinado el informe; igualmente, al Sr. P.J. Wood y a los otros miembros del personal del Departamento y de la Unidad de Silvicultura Tropical por su ayuda y asesoramiento.

Mis gracias muy sinceras a las siguientes organizaciones y personas por la ayuda que me han prestado en el trabajo de campo: Jari Forestal Agropecuaria Ltda., Brasil, por haberme facilitado alojamiento y transporte, materiales y hombres para las operaciones de campo; a las comisiones forestales de los Estados de Bendel y Ogun, de Nigeria; a los Ministerios de Agricultura y de Recursos Naturales de Sierra Leona y de Gambia, y a los Servicios Forestales de Surinam y Belize, que me han autorizado amablemente a llevar a cabo los trabajos de campo y me han proporcionado el transporte necesario. A este respecto, quiero expresar especialmente mi gratitud a los Sres.: Dres. Charles Brisco y Ron Woessner, Sr. Otavio Nuneslopes y al Sr. John Palmer (actualmente en Turrialba, Costa Rica) todos ellos de Jari Forestal; a los Sres. Iyamabo y Adekunle, Conservadores Jefes de los bosques de los Estados de Bendel y Ogun, respectivamente; a los Sres. M.B. Feika y R.J. McEwan de los Ministerios de Agricultura de Freetown y Banjul, respectivamente; a los Sres. A.T. Vink y H.C. Flowers, respectivamente Director General Adjunto de Bosques en Surinam y al Jefe Forestal de Belize. Igualmente mis más expresivas gracias a los representantes de la FAO y del PNUD en los países, y a los directores de los proyectos de los diversos lugares que he visitado, en particular a los Sres. Jim Ball, Tony Wood y Keshar Bajracharya, por la ayuda que me han prestado especialmente en las comunicaciones.

Quiero expresar igualmente mi gratitud a los científicos y a su personal de laboratorio quienes me han ayudado a efectuar los análisis de las muestras de plantas y de suelos necesarios para llevar a cabo este estudio, especialmente al Dr. Rao de la I.I.T.A., Ibandan, Nigeria, al Dr. Emmanuel De Souza Cruz Embrapa Lab de Solos, Belem, y a los Sres. Soe Agnie y J.J. Neeteson de las estaciones de Landbouwnproefstation y Celos, respectivamente.

## PROLOGO DEL AUTOR

Mi interés por las condiciones de los suelos con monocultivos arranca de una anterior investigación llevada a cabo, en la Escuela de Graduados, sobre las condiciones que afectan al crecimiento de Gmelina arborea en los suelos de complejo basal en Nigeria occidental. La FAO, al aceptar mi solicitud para obtener una beca André Mayer, me ha proporcionado otra oportunidad para poder descubrir algo más acerca de las condiciones de los suelos y del ciclo de los elementos nutritivos con especies que están siendo cada día más importantes, no solamente en la silvicultura rural sino también en la silvicultura industrial. Es evidente que los estudios de este tipo, con sus exigencias de espacio y tiempo, deberán prolongarse suficientemente para poder obtener resultados significativos.

Aunque 18 meses es un plazo apenas suficiente para llevar esta investigación a unos resultados conclusivos, considero que la información que he obtenido hasta ahora servirá como base para ulteriores investigaciones, que es de esperar puedan ser llevadas a cabo con una mayor profundidad. El presente programa piloto ha servido para delinear, más que cualquier otra cosa, algunas zonas importantes en la ordenación de los monocultivos de plantación que requieren una mayor intención. Por tanto, los lectores del informe deberán tener en cuenta que los resultados de este estudio no constituyen más que simples indicaciones de las condiciones pedológicas que podrían obtenerse de un gran número de rotaciones sucesivas. Desgraciadamente, no pudo disponerse en el momento de escribir este documento, de los datos de los análisis que se han efectuado en todos los lugares visitados. Si en un próximo futuro pudiera disponerse de dicha información y en caso de que la misma pudiera dar lugar a modificaciones importantes de las conclusiones obtenidas hasta ahora, se prepararía un suplemento al presente informe.

El titular de esta beca se ha esforzado para investigar los diversos aspectos de las plantaciones a pesar de las deficiencias de poca importancia en la metodología, impuestas por la falta de material y de tiempo. Es de esperar que, en vista de la importancia de un estudio ulterior, se haga un esfuerzo para establecer un proyecto a largo plazo en las regiones tropicales húmedas de tierras bajas.

INDICE

	<u>Página</u>
RESUMEN	1
AGRADECIMIENTOS	ii
PROLOGO DEL AUTOR	iii
<u>CAPITULO 1 - ANTECEDENTES</u>	1
1.1 La fisonomía cambiante de la silvicultura tropical	1
1.2 El medio edáfico y el crecimiento de los árboles	2
1.3 Objetivos del presente estudio	3
1.4 Examen de las investigaciones sobre las condiciones de los suelos con especies de árboles de crecimiento rápido	4
1.4.1 Morfología del suelo y contenido de los residuos vegetales	4
1.4.2 Propiedades físicas del suelo	5
1.4.3 Propiedades químicas del suelo	6
1.4.4 Ciclo de los elementos nutritivos	7
1.4.5 Productividad a largo plazo de los monocultivos forestales	9
1.5 Prácticas modernas en la agricultura tropical	11
<u>CAPITULO 2 - EMPLAZAMIENTO DE LAS ZONAS ESTUDIADAS</u>	15
2.1 Vegetación natural	15
2.2 Clima	15
2.2.1 Distribución de las precipitaciones	15
2.2.2 Regímenes de temperatura	15
2.3 Geología y distribución de los suelos	15
2.3.1 Nigeria	17
2.3.2 Sierra Leona	17
2.3.3 Gambia	17
2.3.4 Brasil (Jari Florestal)	18
2.3.5 Surinam (Blakkawatra y Coesewigne)	18
2.3.6 Belize	19
2.4 Forestería de plantación en las zonas estudiadas	20
2.4.1 Técnicas de establecimiento	20

	<u>Página</u>
2.4.2 Datos sobre la plantación de monocultivos y distribución de los suelos en las zonas visitadas	20
<u>CAPITULO 3 - METODOS</u>	21
3.1 Metodología general	21
3.2 Muestreo de los suelos	21
3.2.1 Intensidad del muestreo	21
3.2.2 Morfología del suelo	22
3.2.3 Procedimientos de análisis de los suelos	22
3.3 Muestreo de plantas	23
3.3.1 Masa de árboles	23
3.3.2 Otra vegetación y hojarasca	23
3.3.3 Método de análisis de los tejidos vegetales	23
3.4 Epoca del muestreo	23
3.5 Otras fuentes de aportación y extracción de los elementos nutritivos	24
<u>CAPITULO 4 - RESULTADOS</u>	25
4.1 Contenido de elementos nutritivos de los árboles y de la hojarasca	25
4.1.1 <u>Gmelina arborea</u>	25
4.1.2 <u>Pinus caribaea</u>	30
4.2 Características físicas y químicas de los suelos	31
4.3 Variaciones en las características de los perfiles de los suelos	32
4.3.1 Color	32
4.3.2 Tendencias texturales	32
4.3.3 pH del suelo	33
4.3.4 Distribución del fósforo asimilable en el perfil	33
4.3.5 Total de cationes extraíbles por $\text{NH}_4\text{OAC}$	33
4.3.6 Carbono orgánico y porcentaje de nitrógeno	33
4.4 Evolución de la fertilidad del suelo en las plantaciones nigerianas de <u>Gmelina</u>	33



	<u>Página</u>
4.4.1 pH del suelo	34
4.4.2 Total de cationes extraíbles por $\text{NH}_4\text{OAC}$	34
4.4.3 Fósforo asimilable	34
4.4.4 Carbono orgánico y porcentaje de nitrógeno	34
4.5 Tendencias físicas en los suelos de Brasil	34
4.6 Tendencias químicas observadas en los suelos plantados de pinos en Surinam	35
4.7 Representación diagramática de los presupuestos de los elementos nutritivos	35
<u>CAPITULO 5 - DISCUSION</u>	36
5.1 Cantidades de elementos nutritivos contenidas en los árboles y relaciones suelo/edad	36
5.2 Extracción de elementos nutritivos y potencial sostenido del suelo	37
5.3 Cambios físico-químicos de los suelos y fertilidad	38
5.4 Evaluación del retroceso en el crecimiento sobre los suelos de plantaciones	41
<u>CAPITULO 6 - RESUMEN Y CONCLUSIONES</u>	44
6.1 Conclusiones	44
6.2 Recomendaciones	45
BIBLIOGRAFIA CITADA	46
<u>APENDICE 1 - DESCRIPCIONES DE PERFILES DE SUELOS REPRESENTATIVOS</u>	52
NIGERIA	53
A. Ubiaja	53
B. Omo-Ajebandele	55
BRASIL	58
A. Pacanari	58
B. Sao Miguel	60

	<u>Página</u>
DESCRIPCION GENERAL DE OTROS SUELOS	63
A. Surinam	63
B. Belize	64
<u>APENDICE 2</u> - PROPUESTA DE PROYECTO PARA LA EVALUACION A LARGO PLAZO DE LOS EFECTOS DE LOS MONOCULTIVOS DE PLANTACIONES FORESTALES SOBRE LOS SUELOS DE LOS BOSQUES TROPICALES HUMEDOS DE TIERRAS BAJAS	65
Mandato del proyecto	65
Justificación	65
Necesidades de personal para el proyecto	67
Obligaciones del personal	67
Ubicación del proyecto	68
Costos del proyecto	69
Financiación del proyecto	70
Resumen	71
<u>APENDICE 3</u> - CUADROS (para detalles véase la lista de los cuadros)	71
Datos sobre las plantaciones	72
Análisis de las partes componentes de los árboles y de la hojarasca	75
Análisis físico del suelo	83
Análisis químico del suelo	91
<u>APENDICE 4</u> - FIGURAS (para detalles véase la lista de las figuras)	95
Características de los perfiles de los suelos	96
Características de la evolución de los suelos en el transcurso del tiempo	107
Presupuestos de los elementos nutritivos	113

LISTA DE LOS CUADROS

	<u>Página</u>
<u>EN EL TEXTO</u>	
1.1 Elementos nutritivos suministrados por la lluvia	9
1.2 Contenido de elementos nutritivos de las palmas aceiteras en Nigeria	11
1.3 Contenido de elementos nutritivos de las palmas aceiteras en Zaire	12
1.4 Componentes que entran en el ciclo de los elementos nutritivos en una plantación de Caucho	14
4.1 Producción de biomasa por encima del suelo (peso seco)	25
4.2 <u>Gmelina arborea</u> , media de seis parcelas	26
4.3 Contenido de elementos nutritivos (% del peso seco)	27
4.4 Absorción de elementos nutritivos (kg/ha)	28
4.5 Cantidad de elementos nutritivos contenida en la hojarasca (kg/ha)	29
4.6 <u>Pinus caribaea</u> , media de cuatro parcelas	30
5.1 Contenido de elementos nutritivos en la hojarasca y en el suelo en la zona de Omo-Ajebandele	39
5.2 Extracción de elementos nutritivos en porcentaje de las reservas de la hojarasca y del suelo - P, K, Ca, Mg - Omo-Ajebandel	40
<u>EN EL APENDICE 3</u>	
<u>Datos sobre las plantaciones</u>	
A1 Datos sobre las plantaciones y distribución de los suelos en las zonas visitadas	72
<u>Análisis de las partes componentes de los árboles y de la hojarasca</u>	
A2 Pesos frescos (kg) y porcentaje del contenido de humedad de árboles individuales de <u>Gmelina</u> y del pino	75
A3 Pesos frescos y grado de humedad medios de <u>Gmelina</u> y del pino (error típico entre paréntesis)	76
A4 Pesos secos medios de las partes aéreas de <u>Gmelina</u> y de pino (kg/ha)	77
A5 Contenido en elementos nutritivos de <u>Gmelina arborea</u> (en % del peso seco)	78
A6 Contenido en elementos nutritivos de <u>Pinus caribaea</u> (en % del peso seco)	80
A7 Contenido de elementos nutritivos en las partes componentes de los árboles (kg/ha)	81

Análisis físico del suelo

A8	Propiedades físicas de los suelos - Nigeria	83
A9	Propiedades física de los suelos - Brasil	86
A10	Análisis físicos de perfiles representativos - Brasil	90

Análisis químico del suelo

A11	Análisis químico de los suelos - Nigeria	91
A12	Análisis químico de los suelos - Surinam	94

## LISTA DE LAS FIGURAS

	<u>Página</u>
 <u>EN EL TEXTO</u>	
2.1 Emplazamiento geográfico de las zonas estudiadas	16
2.2 Transiciones pedológicas en la zona de aluviones continentales en Surinam	19
 <u>EN EL APENDICE 4</u>	
A1 Ubiaja. Perfiles de plantaciones de <u>Gmelina arborea</u> y del bosque natural	96
A2 Omo-Ajebandele. Perfiles de las plantaciones de <u>Gmelina arborea</u> y del bosque natural	97
A3 Pacanari. Perfiles de las plantaciones de <u>Gmelina arborea</u> y del bosque natural	98
A4 Sao Miguel	99
A5 Tendencias texturales (Nigeria)	100
A6 Tendencias texturales (Brasil: Jari)	101
A7 Modificaciones del pH sobre el espesor de los perfiles: Nigeria	102
A8 Distribución del fósforo asimilable sobre el espesor de los perfiles: Nigeria	103
A9 Distribución del $\text{NH}_4\text{OAC}$ total de cationes extraíbles (Ca, Mg, K, Na) sobre el espesor de los perfiles: Nigeria	104
A10 Distribución de la materia orgánica: Nigeria	105
A11 Distribución del nitrógeno (% del total): Nigeria	106
A12 Tendencia del pH del suelo con la edad: Omo-Ajebandele	107
A13 Tendencia en el contenido de cationes extraíbles en función de la edad de las plantaciones: Omo-Ajebandele	108
A14 Tendencia de la concentración de P asimilable en función de la edad: Omo-Ajebandele	109
A15 Tendencia del porcentaje de carbón orgánico en función de la edad: Omo-Ajebandele	110
A16 Tendencia del porcentaje de N total en función de la edad: Omo-Ajebandele	111
A17 Tendencia de la concentración de K extraíble por $\text{NH}_4\text{OAC}$ en función de la edad en las plantaciones: Omo-Ajebandele	112
A18 Ubiaja: plantación de <u>Gmelina arborea</u> de 5-6 años de edad	113
A19 Udo Rest House: plantación de <u>Gmelina arborea</u> de 14-15 años de edad	114
A20 Omo-Ajebandele: plantación de <u>Gmelina arborea</u> de 5-6 años de edad	115
A21 Omo-Ajebandele: plantación de <u>Gmelina arborea</u> de 12-13 años de edad	116

	<u>Página</u>
A22 Pacanari: plantación de <u>Gmelina arborea</u> de 5-6 años de edad	117
A23 Sao Miguel: plantación de <u>Gmelina arborea</u> de 5-6 años de edad	118
A24 Sao Miguel: plantación de <u>Pinus caribaea</u> de 5-6 años de edad	119



## Capítulo 1

### ANTECEDENTES

#### 1.1 La fisonomía cambiante de la silvicultura tropical

La expresión 'Bosque Tropical', para aquellos que no están familiarizados con ella, evoca un cuadro de recursos inmensos y de una abundancia inacabable. A los bosques tropicales se les considera frecuentemente como inmensas zonas de vegetación densa, que contienen una multitud de especies de árboles grandes de gran valor económico, con cadenas sin fin de lianas, y con sus bosques sombríos y terroríficos. En realidad, los bosques densos de los trópicos húmedos no constituyen en la zona tropical el tipo de vegetación más extendido y es necesario señalar que existen otras zonas de 'bosque' que no están tan ricamente dotadas debido a influencias edáficas, bióticas o climáticas. Tales zonas, muy frecuentemente, están cubiertas por una clase diferente de vegetación y comprende bosques claros, arbustos, hierbas o una combinación de estas tres especies. Entre estos extremos, se presentan situaciones intermedias, cada una está determinada por las condiciones edafo-climáticas predominantes y por la influencia del hombre.

En las zonas en las que se presentan los bosques tropicales reside también una numerosa población humana, la que, a pesar de la aparente riqueza natural de los bosques, en la mayoría de los casos vive en la pobreza. La explotación de la madera y de otros recursos de estas regiones no son suficientes para mejorar el nivel de vida de las comunidades frecuentemente dispersas que habitan en ellas.

En algunas de las zonas relativamente más desarrolladas de los trópicos, la reimportación de los productos terminados, fabricados con la misma madera que ha sido exportada, implica unos costos a los que sus economías pueden difícilmente hacer frente.

Las investigaciones efectuadas durante los últimos decenios han permitido identificar diversas especies de árboles, las cuales, aparte de sus características de crecimiento rápido, poseen una madera de propiedades muy interesantes. Estas especies incluyen Eucalyptus spp., Pinus spp., Albizia falcataria, Cupressus lusitanica, teck y Gmelina arborea. Por muchas razones, se ha pasado de la silvicultura tradicional a la silvicultura industrial o a las especies forestales en granjas o masías en determinadas partes de los trópicos. Puede citarse al respecto el incremento proyectado en la demanda mundial de los productos de la madera, el crecimiento proyectado de la población mundial - especialmente en los países en desarrollo - y, conforme su nivel de vida va aumentando, el mayor consumo proyectado de papel y de los productos de la madera maciza (Johnson, 1976). Johnson sugirió que la demanda de papel será incluso mayor que la de los productos de madera maciza, indicando que el precio de los árboles pequeños de fibra larga aumentará más que el de los árboles con madera sin nudos.

Más recientemente, King (FAO, 1977, 1978) ha subrayado la necesidad de dar una nueva dimensión a la silvicultura. El objetivo deberá ser el de contribuir a la producción de alimentos y a detener, y en algunos casos cambiar, el avanzar del empobrecimiento de las áreas rurales. El ha propugnado que se utilice la silvicultura para el desarrollo de la comunidad local, con objeto de aumentar el flujo de beneficios procedentes de las actividades forestales a favor de la gente pobre rural, en lugar de en beneficio de los habitantes urbanos. Tiene una importancia particular la generalización de la agrisilvicultura, combinando la plantación de árboles con los cultivos de labranza, integrando la producción de alimentos con la arboricultura y la ganadería (King 1968).



Otra razón adicional en pro del desplazamiento de la silvicultura convencional a la silvicultura de plantación en determinados lugares de los trópicos, se explica, probablemente, por la creciente demanda de leña como fuente de energía en el mundo en desarrollo. La leña (a pesar del petróleo) continúa siendo la principal fuente de energía y su escasez ha tenido como consecuencia una baja producción de alimentos. En un informe presentado a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (Estocolmo 1972), la India manifestó que la falta de leña les había obligado a utilizar el estiércol del ganado vacuno como combustible en lugar de como abono. Para poder sustituir el estiércol por madera como combustible en India se necesitarían casi 10 millones de hectáreas de plantaciones forestales, lo que constituía una tarea imposible en las condiciones entonces existentes (Zumer-Linder 1976). Ekholm (1975a) describió la actitud oficial del Gobierno de India por lo que respecta a la crisis de la leña cuando manifestó: "Incluso aunque nosotros logremos, de una manera u otra, producir suficientes alimentos para la población para el año 2000, ¿cómo podrá esta población cocinarlos? Earl (1975) ha indicado que se necesitarían todos los años 76 000 toneladas de leña para calentar 450 secaderos de tabaco, una demanda que agrava aún más la situación y se prevé incluso la utilización de maderas de mango como leña.

Si bien las circunstancias favorecen el fomento de los programas de repoblación forestal en los trópicos, los cuales en algunos casos implican la sustitución de los bosques naturales (algunos de los cuales contienen muy pocas cantidades de especies económicamente interesantes) por especies de crecimiento rápido, esta práctica no está destinada a proporcionar un sucedáneo para la silvicultura convencional sino, más bien, para complementarla. Un equilibrio racional de los dos sistemas permitiría aliviar la pobreza en estas zonas, así como mantener las condiciones climáticas y ecológicas, que son objeto de preocupación para los ecologistas de todo el mundo.

## 1.2 El medio edáfico y el crecimiento de los árboles

Según definición clásica, el suelo es el material mineral no consolidado en la superficie inmediata de la tierra, que sirve como medio natural para el crecimiento de las plantas terrestres. Este material ha estado influido por factores genéticos y ambientales, del material de origen, por el clima (incluidas la humedad y la temperatura), por macro y micro-organismos y por la topografía; todos estos factores, actuando a lo largo de un período de tiempo y produciendo un producto, el suelo, que difiere del material de origen en muchas características físicas, químicas, biológicas y morfológicas (Anon. 1970). El suelo sustenta las plantas, suministrándoles la mayor parte de los elementos necesarios para su nutrición y, al mismo tiempo, les sirve de anclaje.

Los mecanismos implícitos en la extracción y sustitución por los árboles de las reservas de los elementos nutritivos contenidos en el suelo son complejos y no ha sido posible examinarlos con detalle en este informe. Bástenos afirmar que, para que un suelo forestal mantenga una masa de árboles floreciente, deberán ser adecuadas todas las condiciones necesarias, físicas, químicas, biológicas y morfológicas. Conforme los árboles van creciendo, absorben sin interrupción en la solución del suelo los elementos nutritivos, y una parte de ellos se restituye a la superficie del suelo mediante la caída de la hojarasca. Este ciclo de los elementos nutritivos continúa hasta que, a una determinada edad, se alcanza el equilibrio entre las cantidades devueltas y las cantidades extraídas. Stark y Jordan (1978) han descrito un caso observado en los trópicos en el que los elementos nutritivos contenidos en la capa de hojarasca restituida a la superficie del suelo son absorbidos por las raíces superficiales de la vegetación con la ayuda de ciertos hongos. La teoría del ciclo totalmente orgánico (O-O) de los elementos nutritivos presupone que los árboles, en esta fase, parece que viven independientemente del suelo debajo de ellos. Pero debe recordarse que esta teoría se aplica solamente al bosque-climax natural (no

explotado) y no a los bosques artificiales. Se perturba el equilibrio del bosque-climax natural cuando el bosque se corta y el suelo queda expuesto a la influencia directa de los factores climáticos. Como resultado de esto, se produce una pérdida inicial de elementos nutritivos, y el ciclo que se establecerá después dependerá de las especies plantadas, así como de las reservas contenidas en el suelo.

Los árboles forestales, especialmente las especies de crecimiento rápido, imponen grandes demandas al suelo. Con los métodos de explotación actuales, en que es corriente extraer la totalidad, o la casi totalidad, de la biomasa para alimentar las fábricas de conversión de la madera y satisfacer la demanda industrial, la cantidad de elementos nutritivos, biológicamente importantes, que desaparecen en cada extracción, puede alcanzar varios millares de kilos por hectárea y pueden producirse hasta 10 de tales ciclos de rotación en el espacio de un siglo. Los suelos varían por su contenido de elementos nutritivos, que depende, en gran medida, de los materiales de origen, del clima y de la fisiografía. Esto significa que la vida biológica (Stark, 1978) de los suelos sometidos a una ordenación forestal intensiva será muy variable. Además de la variación en el equilibrio de los elementos nutritivos, se sabe que los monocultivos cambian también determinadas características del suelo, tales como el color, la estructura y densidad, así como su acidez (Hamilton, 1965). Tales cambios pueden tener efectos beneficiosos o perjudiciales sobre la futura producción de la masa arbórea. Cualesquiera que sean los efectos de los monocultivos de los árboles de crecimiento rápido sobre los suelos tropicales el objetivo del programa de ordenación deberá ser el de evitar las pérdidas excesivas de los elementos nutritivos exportados con el producto y el de mantener, por regla general, el potencial y la estabilidad del suelo.

### 1.3 Objetivos del presente estudio

La 'labranza forestal' con monocultivos de especies con rotaciones cortas se está difundiendo cada día más, no solamente en las regiones templadas, sino también en las regiones tropicales húmedas. Se han llevado a cabo pocos estudios acerca de los efectos de tales monocultivos sobre el suelo, especialmente en los trópicos. El efecto neto dependerá de una serie de factores entre los cuales se encuentra el clima predominante, la naturaleza del suelo y el tipo de la cubierta arbórea y sus exigencias particulares. No obstante, son diversos los puntos de vista acerca de los posibles problemas que pueden plantearse con esta forma de ordenación de los suelos.

Algunos autores creen que los cambios en el ecosistema forestal no son tan graves como para producir alarma, en tanto que otros los consideran más importantes, y piden que se haga un estudio mucho más detenido (Keeves, 1966; Chaffey, 1973; Lawton, 1973). Además, algunos investigadores han presentado pruebas de que la reducción en el rendimiento en las rotaciones subsiguientes no se debe, probablemente, a la pérdida de la fertilidad del suelo. Es probable que en las masas naturales, en las que la explotación es ocasional y dispersa, los efectos del empobrecimiento de los elementos nutritivos sean pequeños, probablemente no existentes. No obstante, no existe duda alguna de que la extracción de árboles en rotaciones frecuentes sobre vastas superficies tendrá como resultado un determinado grado de degradación de las características físicas, químicas o morfológicas del suelo, a pesar del ciclo de los elementos nutritivos.

Como parte integral de este estudio es necesario incluir:

- a) un examen detallado de las publicaciones e informes pertinentes acerca de las plantaciones comerciales y experimentales y de los ensayos que se están efectuando;

- b) una descripción del crecimiento y el estado de salud actuales de plantaciones de diversas edades, así como de los suelos y de los factores edáficos asociados;
- c) un análisis de los estudios sobre la nutrición de cultivos tropicales perennes - caucho, palma aceitera, cacao y cítricos - en relación con los problemas análogos en las masas forestales.

El objetivo principal de los estudios de campo fue el de dar prioridad a las especies Gmelina arborea y Pinus caribaea. Los objetivos del programa fueron los siguientes:

- a) estudiar los cambios producidos por los monocultivos de Gmelina arborea y Pinus caribaea respecto a las propiedades del suelo, tales como (i) morfología; (ii) características físicas y (iii) características químicas de los diversos tipos de suelo que se presentan en determinadas regiones forestales tropicales húmedas;
- b) cuantificar las pérdidas absolutas de elementos nutritivos resultantes del aprovechamiento de árboles enteros en determinadas fases del crecimiento. Sobre la base de estos resultados se podrá eventualmente recomendar procedimientos de ordenación para conseguir una productividad óptima.

El titular de esta beca está totalmente consciente de la importancia de efectuar una investigación minuciosa acerca de la influencia de los monocultivos sobre la población, la diversidad y actividad de los micro-organismos del suelo, pero esta beca no estaba suficientemente equipada, ni material ni profesionalmente, para poder abordar problema desde este ángulo.

#### 1.4 Examen de las investigaciones sobre las condiciones de los suelos con especies de árboles de crecimiento rápido

Existe una concienciación creciente acerca de la posible reducción del potencial del suelo como resultado de los monocultivos de especies de crecimiento rápido en las regiones geográficas tropicales, subtropicales e incluso templadas de todo el mundo. Debido a las grandes diferencias de clima entre estas regiones, es muy probable que, cualesquiera que sean las exigencias particulares de las especies arbóreas mismas, la degradación del suelo, si se produce, variará en intensidad con el régimen de lluvias, la temperatura, el material de origen del suelo, los vientos, la altitud, el declive y la topografía. Se han llevado a cabo muchas investigaciones para determinar qué efectos tiene la ordenación forestal sobre la morfología del suelo, la reserva de elementos nutritivos, la productividad de los suelos a largo plazo, los sistemas micro-biológicos y el ciclo de los elementos nutritivos del suelo, en general, y sobre otras importantes propiedades físicas y químicas de los suelos.

##### 1.4.1 Morfología del suelo y contenido de los residuos vegetales

Uno de los efectos más evidentes de la vegetación sobre el suelo que la sustenta es el depósito de materias vegetales muertas - hojas, ramitas, frutos, ramas e incluso madera de tronco. El resultado de esto es un aumento del contenido de materia orgánica de la capa superficial del suelo, que, en ciertos casos, oscurece aún más el color, mejora la estructura, la infiltración, la aireación y los procesos conexos (Mergen y Malcolm, 1955; Challinor, 1968). El efecto último de la caída de la hojarasca dependerá en primer lugar del tipo de hojarasca y en segundo del clima. La hojarasca del pino tiene una mayor tendencia a acumularse, formando el mor (como en la zona templada) el que, conforme aumenta su espesor, puede hacer difícil la perpetuación de la especie (Handley,

1954). Quizá uno de los efectos más importantes del enriquecimiento del humus en materia orgánica, después de la caída de la hojarasca en los monocultivos de coníferas de las regiones septentrionales templadas sea, independientemente de la modificación de la forma de distribución de las raíces, que se produzca un cierto reblandecimiento del alio (Rennie, 1962).

En los trópicos, la hojarasca de pino probablemente se descompone más rápidamente que en las regiones templadas. Sin embargo en las plantaciones tropicales de pinos, el ritmo de descomposición de la hojarasca y de su incorporación al humus es bastante lento si se le compara con el que se ha observado en las especies de frondosas tropicales, que se ha estimado, en forma variable, de 0,55 por ciento (Stark, 1970) y 1,3 por ciento (Nye, 1961) por día. En estudios efectuados sobre el pino resinoso, en Queensland (Anon. 1977), se ha demostrado que el mantenimiento de la productividad depende, en parte, de la descomposición eficaz de la hojarasca y de la liberación subsiguiente de los elementos nutritivos, especialmente el fósforo. Se determinó la tasa de descomposición de la cubierta vegetal muerta, así como de sus propiedades físicas y químicas. Después de tres años de descomposición, la pérdida de peso en las parcelas más viejas, de una edad de 22-34 años, fue del 52-63 por ciento y, en las parcelas más jóvenes de 6-18 años, fue del 33-46 por ciento, lo que da un promedio de un 50 por ciento, aproximadamente. Los niveles de nitrógeno y fósforo en la hojarasca se duplicaron durante dicho período, lo que indica que estos elementos, probablemente, están relacionados con los complejos proteínicos refractarios. Los niveles de potasio aumentaron igualmente, en conjunto en un 50 por ciento, aproximadamente. Las concentraciones de calcio, magnesio y sodio continuaron aproximadamente siendo las mismas, aunque cada una presentó un modelo diferente de variación durante el período de tres años.

#### 1.4.2 Propiedades físicas del suelo

Page (1968) sugirió que los cambios más importantes de los parámetros físicos del suelo, como resultado de la plantación forestal, se presentaron en la superficie o cerca de ella, y se relacionan con el aporte de materia orgánica por la hojarasca de hojas. Las investigaciones efectuadas por este autor sobre la primera rotación de plantaciones de coníferas en el País de Gales, demostraron que las propiedades del suelo tendían a volver a sus valores originales en el momento en que los árboles habían alcanzado de 25-30 metros de altura. Este efecto se atribuyó a la reinvasión de los estratos rasantes vivos a medida que las masas se hacían más claras. Page fue aún más allá al predecir que en la misma zona la segunda rotación sería tan buena como la primera. En Sajonia, por el contrario, el rendimiento de las plantaciones sucesivas de abetos disminuyó, y Wiedemann, citado por Chaffey (1973), explicó que esto se debía a un drenaje defectuoso del suelo pesado, que tenía como efecto confinar el sistema radicular en las capas del mor acumuladas en la superficie. Por tanto, las raíces estaban expuestas a secarse durante la estación seca. Esta tesis ha sido aceptada por diversos autores (Savory, 1966; Krauss *et al.*, 1939; Muir, 1970). La degradación estructural debida a la falta de materia orgánica constituye un peligro para el suelo agrícola (Odland *et al.*, 1950) pero, por regla general, no afecta a los suelos forestales. La mayor parte de las deformaciones estructurales del suelo forestal son el resultado directo de la compactación provocada por el amontonamiento de trozas, por el arrastre de la madera por las vías y sendas de arrastre primarias y secundarias, así como por el uso general de máquinas pesadas en las operaciones forestales (Hatchell *et al.*, 1970).

Sin embargo, las observaciones relativas a los efectos de la cubierta forestal sobre el suelo que la sustenta son frecuentemente contradictorias. Challinor (1968) ha hallado que la transformación de un suelo compacto de pastos en un suelo forestal poroso se efectuaba al mismo ritmo en cuatro especies - abeto, roble rojo, pino blanco y pino rojo -, sin que exista prueba alguna de que las coníferas hayan sido especialmente

dañosas ni los robles especialmente beneficiosos. En Kenya, la comparación entre el suelo de una plantación de cipreses de 16 años de edad y la de un bosque indígena de especies frondosas principalmente, no ha demostrado ninguna diferencia en las características físicas (Robinson et al., 1966). Rennie (1962) y Page (1968) están de acuerdo acerca de que como resultado de la forestación se consigue una mejor aireación y porosidad en los horizontes superiores de los suelos de los bosques. No se ha registrado ninguna degradación de las propiedades físicas del suelo con especies de frondosas. La erosión de los suelos plantados de teca se está convirtiendo en un problema en los suelos arenosos, en India, Java y en otros países (Wood y Dawkins, 1971). Hamilton (1965) ha registrado un aumento de la densidad aparente y una disminución del contenido de materia orgánica después de la conversión de los bosques de Eucalyptus en plantaciones de Pinus radiata, en el sur de Australia. Los estudios efectuados por Lundgren (1978) en plantaciones de Pinus patula y Cupressus lusitanica sobre suelos latosólicos en las montañas de Usambara, en Tanzania, han indicado una tendencia a una mejora inicial de la estructura del suelo (aumento del contenido de materia orgánica y de la porosidad, reducción de la densidad aparente) durante los primeros 4-8 años, seguida de un período de degradación durante los 10-20 años subsiguientes, que corresponden al período de densidad y crecimientos máximos de la plantación. Por último, conforme las masas arbóreas envejecen, la estructura del suelo mejora de nuevo. No se ha podido descubrir una tendencia análoga en las plantaciones de las mismas especies sobre los suelos andosólicos de Mount Meru.

Las propiedades hidrológicas del suelo pueden ser modificadas por la acción del fuego. Debano y Rice (1970) han manifestado que la humectabilidad del suelo puede reducirse mediante la acumulación en el suelo de sustancias hidrófobas desprendidas por la vegetación que se quema.

#### 1.4.3 Propiedades químicas del suelo

Igual que con las propiedades físicas del suelo, los cambios más importantes químicos relacionados con la silvicultura de plantación se producen en la superficie, o en la proximidad de ella, y se relacionan con la aportación de materia orgánica (Page, 1968). Las reservas de elementos nutritivos contenidas en el suelo dependen de la naturaleza de los materiales de origen. Pueden producirse modificaciones en los elementos nutritivos disponibles, tanto directamente, mediante su extracción con el aprovechamiento de la madera, como indirectamente, mediante cambios del pH y de la inmovilización de los elementos nutritivos. Rennie (1962) manifestó que en unos antiguos podsoles Calluna, de Gran Bretaña, tanto las frondosas como las coníferas, pero especialmente estas últimas, provocaron la degradación del suelo al aumentar la inmovilización de los elementos nutritivos en el humus y al agotar el calcio y otros elementos en los horizontes inferiores. Se ha observado igualmente un empobrecimiento análogo de los terrenos, en las sabanas de suelos arenosos lixiviados (Fishwick, 1964). Se ha señalado, igualmente, una extracción importante de calcio y de magnesio, así como de la mayor parte de los elementos básicos, por las frondosas tropicales (Nwoboshi, 1972; Lundgren, 1978; Chijioke, 1978; Golley et al., 1975; Lamb, 1968; Seth et al., 1963; Sánchez, 1973), y una exportación de fósforo relativamente superior a la de los minerales de base por las coníferas (Evans, 1976; Seth et al., 1963; Hamilton, 1965; Robinson et al., 1966). En una plantación de palma aceitera de Africa Occidental, Kowal y Ticker (1959) descubrieron que después de un incremento inicial de K intercambiable durante los primeros cinco años después de la corta, quemado y plantación, se producía una pérdida muy importante de este elemento en el transcurso de los 11 años subsiguientes, y una pérdida menor de magnesio, pero ninguna pérdida grave de otros elementos nutritivos. Ellos han sugerido que sobre estos suelos, la fertilización con estos dos elementos permitiría mantener las plantaciones en un estado de equilibrio durante períodos muy largos. Un estudio comparado de las influencias ejercidas sobre el suelo por las plantaciones de teca y casia (Nwoboshi, 1972) demostró que la casia leguminosa es probablemente más eficaz en el ciclo de los elementos nutritivos minerales de base, pero que éstos eran preferentemente fijados por la teca.

No se dispone apenas de datos sobre los rendimientos que puedan esperarse de la segunda rotación de las plantaciones de coníferas en los trópicos y en las regiones subtropicales. Los resultados de los estudios efectuados sobre suelos de Swazilandia, para comparar los terrenos donde se obtiene una buena y mediocre segunda rotación, indican que pueden producirse cambios en la flora micorrizal entre las rotaciones, tanto desde el punto de vista cualitativo como de la amplitud de asociación, en los terrenos en que el crecimiento de la segunda rotación era menos bueno (Robinson, 1971, 1973 citado por Evans 1976). Lundgren (1978) descubrió que sobre los suelos latosólicos de las montañas de Usambara Occidental, en Tanzania, los depósitos de P y K en el suelo, tanto en forma asimilable como en estado de reserva, disminuían netamente con la creciente edad de las plantaciones de P. patula y C. lusitanica, en tanto que las tendencias respecto a Ca y Mg eran menos claras. El pH fue generalmente superior en la cubierta de pinos que con la cubierta de cipreses. En contraste, sobre los suelos andosólicos de Mount Meru, los inventarios totales de los elementos nutritivos eran muy abundantes en relación con las necesidades de las plantaciones, y no podía determinarse ninguna tendencia en la evolución de las propiedades químicas en función de la edad de las especies.

En el caso de los bosques tropicales siempreverdes de Trinidad convertidos en plantaciones de Pinus caribaea, Cornforth (1970) descubrió que se había perdido nitrógeno durante los cuatro años sucesivos después de la quema del bosque original, pero que había aumentado a su nivel original después de transcurridos 10 años, en tanto que el fósforo había disminuido durante siete años, sin recuperar jamás su valor original. Después de cuatro años, a partir de la fecha de la quema, se perdieron mayores niveles de las reservas de potasio, calcio y magnesio. La reducción de las reservas de elementos nutritivos, provocada por la reforestación, fue muy acentuada en las zonas con declives pronunciados y con el mayor régimen de lluvias. En el transcurso de seis años se perdieron hasta el 74 por ciento de las reservas originales.

#### 1.4.4 Ciclo de los elementos nutritivos

Wilde y Patzer (1944) han descubierto en la zona templada que los suelos de plantaciones de Pinus resinosa, con una edad inferior a los 20 años, conservan la mayor parte de las características que poseían en el momento de la plantación. No obstante, los suelos con las masas más viejas, presentaban mejorías marcadas debido al depósito prolongado de una hojarasca enriquecida con elementos nutritivos y a la incorporación directa por lixiviación de elementos nutritivos solubles (Wilde e Iyer, 1962). Wilde (1964) ha sugerido que el grado de enriquecimiento del suelo varía ampliamente según la edad, la composición, la densidad y la tasa de crecimiento de la masa arbórea y el potencial productivo del suelo. En investigaciones sobre la evolución de los suelos de plantaciones efectuadas en Gran Bretaña, Ovington (citado por Florence, 1967) demostraron que después de transcurridos de 20 a 45 años, las cantidades de carbono orgánico, nitrógeno total, sodio, potasio y fósforo habían sido todas modificadas en función del tipo de árbol y de su estrato rasante asociado. En los bosques de coníferas mezcladas de las Sierras (Estados Unidos) se ha hallado que las cantidades de fósforo, nitrógeno y calcio más magnesio, contenidos en el suelo aumentaban en el orden de (de los suelos asociados) pino 'ponderosa', cedro, abeto de Douglas, el pH más elevado se había observado en el cedro y el más bajo en el pino 'ponderosa' (Zuika, 1956). Pokhilton (1958) ha hecho valer las ventajas de los bosques mezclados respecto a las masas arbóreas de pinos, basándose en su descubrimiento de que el contenido de nitrógeno del suelo en plantaciones de pinos/frondosas, en una proporción de 50/50 (proporciones iguales) era más elevado que el de las plantaciones de pinos, en tanto que diversos autores han señalado una tendencia a la reducción de las reservas de los elementos nutritivos del suelo en las coníferas (Waring, 1963; Hamilton, 1964). El contenido de elementos nutritivos de la hojarasca es variable, debido a las proporciones variables de hojas, madera, corteza, trozos de frutos y de flores que la componen.

Debido a las condiciones climáticas más extremas de los trópicos, por ejemplo, humedad, temperatura y régimen de lluvias muy elevadas, cabe esperar ritmos de mineralización más rápidos y mayores tasas de reciclaje de los elementos nutritivos, muy superiores a las observadas en las regiones templadas. (Stark, 1970; Nye, 1961; Jenny *et al.*, 1949). Se ha demostrado que los suelos de los bosques tropicales contienen más nitrógeno y materia orgánica que los suelos de los bosques de zonas templadas, las cantidades son, por regla general, del orden de 8 500-12 000 kg/ha de N, en el primer caso, y de 920-3 150 kg/ha de N, en el segundo, en forma de hojas y ramitas (Jenny *et al.*, 1949). Jenny ha calculado que el tiempo necesario para alcanzar el estado de equilibrio en la acumulación de la cubierta vegetal muerta es menor de 10 años para los bosques tropicales, de 30 a 60 años para el roble de california y de 100 a 200 años para el pino ponderosa.

En Swasilandia, Evans (1978a) ha presentado un informe de un análisis comparativo de muestras de suelos tomadas con nueve años de intervalo en las mismas fosas pedológicas, en masas de Pinus patula no perturbadas, habiendo hallado ligeros incrementos de la acidez, pérdida de la mayor parte de los elementos nutritivos ensayados y una acumulación considerable de hojarasca. El aumento del pH y las pérdidas de N, Ca y Mg fueron muy importantes, pero no se descubrió ningún cambio importante en las cantidades de P ni de K.

El ciclo de los elementos minerales en el ecosistema del bosque tropical húmedo, ya sea natural o artificial, ha sido descrito en forma muy gráfica por Colley *et al.*, (1975). El autor dice: "El ciclo de los elementos minerales se discute muy frecuentemente como si se tratase de un proceso dinámico aislado, análogo al flujo energético. En realidad, la concentración y la movilización de los elementos en el ecosistema forestal constituye un proceso complejo, que varía con cada elemento en función de su química física, de su geoquímica y de su bioquímica. Las relaciones entre las características físicas de cada elemento y su estabilidad, reactividad y su dimensión nucleares son de una importancia fundamental para explicar la química forestal. No obstante, los elementos están repartidos en toda una variedad de combinaciones químicas más que elementos solos, y estos compuestos son el resultado de procesos geoquímicos, tales como la formación y meteorización de las rocas, la formación y lixiviación de los suelos. Además, las plantas y los animales concentran y acumulan los elementos presentes en la filosfera, en la atmósfera y en la hidrosfera, hacen distinciones al encontrarse con algunos de ellos. La distribución y el ciclo de elementos específicos puede explicarse por la interacción entre estas tres series de fenómenos químicos." El fósforo es relativamente más raro en los suelos que determinados otros elementos esenciales. Ha habido una abundancia relativamente baja en las rocas ígneas y en los esquistos, pero es indispensable para los organismos vivos. Por otro lado, el calcio abunda en la litosfera, y es un componente esencial de las paredes celulares. Por tanto, las cantidades de fósforo retenidas en la biomasa forestal pueden ser reducidas y las cantidades de calcio pueden ser muy abundantes. Los aportes y las extracciones imputables a la fuente geológica están, en su mayor parte, relacionadas con las ganancias y pérdidas debidas a la erosión y, menos frecuentemente a fuerzas geológicas importantes, tales como la actividad volcánica o una importante elevación del terreno. En un paisaje relativamente estable, la aportación de las fuentes geológicas es normalmente muy pequeña y la extracción está representada por el contenido de elementos sólidos de las corrientes de agua. Las fuentes geológicas reflejan la composición y las tasas de desintegración, por zonas y tipos particulares de rocas y minerales y, por lo tanto, las pérdidas varían grandemente de un suelo a otro. Tales pérdidas y ganancias, que pueden determinarse mediante estudios de lisimetría, no se han estudiado ampliamente para los sistemas forestales típicos, excepto por Colley (1975), pero hasta ahora se han considerado compensatorios entre sí y no constituyen una amenaza importante para el estado de equilibrio de los elementos nutritivos del suelo.

Las cantidades aportadas y extraídas por la atmósfera, que entrañan las aportaciones procedentes de la lluvia y de los intercambios gaseosos, así como de la filosfera y de la fijación simbiótica y no simbiótica, representan un elemento muy importante del ciclo de los elementos nutritivos en los bosques tropicales. Las aportaciones de elementos nutritivos imputables a las precipitaciones han sido estudiadas para Ghana por Nye (1961), para Puerto Rico por Edmisten (1970), para Malasia por Kenworthy (1971) y para Panamá por Colley et al. (1975) (Cuadro 1.1).

Cuadro 1.1

ELEMENTOS NUTRITIVOS SUMINISTRADOS POR LA LLUVIA

Precipitaciones cm	N kg/ha/año	P kg/ha/año	K kg/ha/año	Ca kg/ha/año	Mg kg/ha/año	Región
185	14,0	0,41	17,5	12,7	11,3	Ghana
300	14,0	-	-	-	-	Puerto Rico
230	-	-	12,5	14,0	3,3	Malasia
193	-	1,41	9,51	29,29	4,87	Panamá

Si las aportaciones anuales de elementos nutritivos provenientes de las precipitaciones se multiplican por las edades de las masas arbóreas, deberá observarse que respecto a la mayor parte de los elementos, las cantidades aportadas por la lluvia son aproximadamente iguales, o pueden ser superiores, a las cantidades extraídas por el aprovechamiento de la madera del bosque natural.

1.4.5 Productividad a largo plazo de los monocultivos forestales

Evans (1978b), en su tercera evaluación de 53 pares de parcelas de muestreo de especies de Pinus patula, en Usutu, ha descubierto una ligera reducción (de 6 a 8%) de la productividad de la segunda rotación a la edad de 14 años, comparada con el aprovechamiento de la primera rotación de la misma edad, creciendo en lugares análogos. Las mediciones anteriores efectuadas respecto a las mismas especies, a los 6 y 10 años, habían demostrado una mejora de la productividad en la segunda rotación. Este autor ha atribuido parte de esta reducción a un importante acortamiento de la estación de lluvias, especialmente en los tres años anteriores. Orman y Will (1960) han estudiado la degradación de los terrenos cubiertos por masas de Pinus radiata, desde el punto de vista de las pérdidas de los elementos nutritivos resultante de la corta a hecho, y hallaron que en un árbol maduro de 26 años de edad, la copa (ramas y acículas) contenía menos del 10 por ciento del contenido total en elementos nutritivos. Por tanto, se eliminan mayores cantidades de elementos nutritivos de un terreno cuando se corta a hecho la masa arbórea, que si se dejase el terreno con los restos de la corta. Keeves (1966) ha notificado, igualmente, una disminución del rendimiento y de la calidad del terreno en las masas replantadas de Pinus radiata, en Australia del sur.

Lewis (citado por Evans, 1978b), ha señalado que se han aprovechado hasta ocho rotaciones de Acacia mearnsii sobre un terreno, sin que se haya podido observar una reducción evidente del crecimiento, pero las rotaciones fueron breves y como se trataba de una leguminosa, es posible que se haya podido derivar algún beneficio de su habilidad para la fijación del nitrógeno. Con el eucalipto, el crecimiento de la segunda y tercera rotaciones de brotes de cepa ha sido, por regla general, menos buena que el crecimiento de la primera



(Champion y Brasnett, 1958). Incluso aunque esto pudiera haber sido debido a un deterioramiento de las cepas, otra causa posible podría ser la imposibilidad de la asimilación fisiológica de elementos nutritivos en el terreno considerado.

El crecimiento reducido de la segunda rotación de las plantaciones puras de teca en India y Java ha hecho fijar la atención sobre el "problema de la teca pura" (Laurie y Griffith, 1942; Griffith y Gupta, 1948). Por otro lado, Evans (1976) ha indicado, que según Mobbs no existe ninguna evidencia de la reducción del crecimiento, incluso después de tres rotaciones de la teca en los terrenos de las colinas de Nilambur. Tampoco se habían observado signos de degradación de la calidad del terreno en las replantaciones de teca en Kerala (India, 1974). En Trinidad, existe una cierta preocupación por el hecho de que una excesiva erosión del suelo plantado con teca conduzca a rendimientos más bajos en la segunda y posteriores rotaciones (Trinidad, 1974). Rennie (1957) ha observado en Gran Bretaña que las cantidades de elementos nutritivos extraídos por los árboles aumentan en el orden siguiente: pinos, otras coníferas y frondosas, y, especialmente en el último caso, respecto al calcio. Dentro de cada uno de estos grupos, las tasas de extracción más elevadas se presentaron asociadas con las mejores cualidades del terreno y tasas de crecimiento. El ha mantenido que el único modo para poder calcular la capacidad de producción de madera de cualquier terreno consiste en conocer la capacidad del terreno para reconstituir los elementos nutritivos que se han perdido debido al aprovechamiento. Lundgren (1978) ha llegado a la conclusión de que, sobre los suelos latosólicos y otros suelos naturalmente infértiles de las regiones tropicales húmedas y semihúmedas, en los que no se hayan adoptado medidas especiales para su ordenación, la conversión de los bosques naturales en plantaciones de bosques artificiales con especies de crecimiento rápido y con una rotación de corta duración, inevitablemente tendrá como resultado la degradación del suelo, que se manifestará por un empobrecimiento del contenido de materia orgánica y de los niveles de elementos nutritivos, y por la pérdida de la estructura de la capa superficial y de la porosidad. La rapidez de la degradación dependerá de las condiciones iniciales del suelo, del clima, de las prácticas de ordenación y de las especies utilizadas, y, eventualmente, afectará adversamente al crecimiento de los árboles. En terrenos más favorables quizás no puedan producirse efectos importantes durante dos o tres rotaciones, pero en los terrenos más pobres con grandes precipitaciones los efectos pueden hacerse ya evidentes en la segunda rotación.

Una importante característica de la mayor parte de los estudios sobre la reducción de los rendimientos y la degradación del terreno es que la mayor parte de ellos se refieren, principalmente, a las regiones subtropicales y a las regiones templadas calientes, citándose pocos ejemplos relativos a los trópicos. Además, estos estudios se presentan raramente estratificados, según los principales tipos de suelos o métodos de ordenación forestal, y es por esta razón por la que se explica que sus conclusiones sean frecuentemente contradictorias.

Según un estudio efectuado por Hatchell *et al.* (1970) la perturbación de la estructura del suelo después de una explotación forestal parece que es la más perjudicial para la plantación y el crecimiento del pino lobelia, debido a la fuerte compactación del suelo asociada a su excesiva humedad. El mayor daño se produce durante la temporada de lluvias y en los bosques de pinares de tierras bajas con terrenos de textura media a fina. Por tanto, han recomendado que la explotación forestal en estos suelos se limite a unas pocas zonas primarias, cuyo estado productivo podría restaurarse posiblemente mediante operaciones de gradeo con discos y el volteo del subsuelo, o algún otro tipo de técnica de cultivo. Por otro lado, en los suelos secos, inicialmente porosos, uno o dos senderos producirán poco daño; sin embargo, el tráfico de la explotación forestal deberá dispersarse por numerosas y diferentes sendas. Por tanto, puede observarse que la reducción de la productividad, usualmente indicada, no puede necesariamente unirse a un factor determinado, ya

sea físico, químico o biológico, sino que todos actúan en concierto para producir una reducción neta. En otras palabras, la productividad varía considerablemente según el equilibrio entre los factores favorables y desfavorables (Boardman, 1978).

#### 1.5 Prácticas modernas en la agricultura tropical

Durante varios decenios, las prácticas agrícolas y hortícolas en los trópicos han aplicado unos métodos de explotación intensiva de cultivos permanentes, tales como la palma aceitera, el caucho, el café, el cacao, la cola, el anacardo y los cítricos, etc. La experiencia ha demostrado que los rendimientos disminuyen después de varios años de aprovechamiento forestal. Entre las muchas posibles causas de esta reducción se encuentran los desequilibrios entre los elementos nutritivos del suelo, la proliferación de agentes patógenos o cambios microbiológicos desfavorables, y una degradación de las propiedades físicas del suelo que pueden impedir la movilización de los elementos nutritivos y la utilización del agua.

La palma aceitera (*Elaeis guineensis*) se encuentra en arboledas naturales o semisalvajes y se cultiva en la mayor parte de los trópicos entre 15°N y 15°S. La producción comercial en gran escala se concentra en el sureste de Asia, pero se observa un creciente interés por su cultivo en Africa y en América Central y en Sudamérica. La palma aceitera puede crecer en una amplia variedad de suelos tropicales, desde los terrenos arenosos hasta los terrenos derivados del complejo basal. Informes recibidos de Nigeria y el Congo (actualmente Zaire) indican que la palma aceitera absorbe una considerable cantidad de elementos nutritivos. En los Cuadros 1.2 y 1.3 se presenta una estimación de las cantidades extraídas o inmovilizadas en las plantaciones de una edad de 20 y 22 años; estas evaluaciones están basadas en los rendimientos medios en regímenes de 1 060 kg/ha/año, en Nigeria y 1 371 kg/ha/año, en Zaire (Anon. NIFOR, 1978).

Cuadro 1.2

#### CONTENIDO DE ELEMENTOS NUTRITIVOS DE LAS PALMAS ACEITERAS EN NIGERIA

Nigeria	kg/ha				
	N	P	K	Mg	Ca
Troncos	220	35	150	165	110
Hojas	170	20	100	65	110
Raíces	70	5	90	30	14
Matas <sup>1/</sup>	430	90	500	65	76
TOTAL	890	150	840	325	310

<sup>1/</sup> Total de las explotaciones forestales anuales.

Cuadro 1.3

CONTENIDO DE ELEMENTOS NUTRITIVOS DE LAS PALMAS ACEITERAS EN ZAIRE

Zaire	kg/ha				
	N	P	K	Mg	Ca
Tronco	649	119	252	164	270
Hojas	64	6	53	10	257
Raíces	84	9	86	34	11
Matas <sup>1/</sup>	564	97	585	82	88
TOTAL	1 361	231	985	260	386

Una evaluación efectuada por el "Nigeria Institute for Oil Palm Research" (Instituto para la Investigación de la Palmera de Aceite de Nigeria) indica que:

- la parte principal de los elementos nutritivos se almacenan en el tronco o se extraen en las matas de frutas;
- las cantidades presentes en las hojas y las raíces son comparativamente pequeñas;
- se necesitan grandes cantidades de nitrógeno y potasio para el tronco y las matas;
- las necesidades de fósforo, calcio y magnesio son mucho menores;
- la mayor parte de la gran cantidad de potasio que se necesita se exporta en las matas de los frutos y se pierde permanentemente para el suelo; aproximadamente la mitad de todo el nitrógeno y fósforo se pierde en las matas de las frutas, pero hay pérdidas pequeñas de magnesio o calcio.

El caucho se planta también extensamente en los trópicos. Se recomiendan especialmente suelos bien drenados y con una textura ligera a media. Independientemente de las pérdidas de elementos nutritivos debidas a la lixiviación, cantidades mucho más importantes de elementos nutritivos son absorbidas e inmovilizadas durante un cierto tiempo por las plantas de la cubierta vegetal del suelo, y más permanentemente son retenidas en los troncos y las ramas. Respecto a las plantaciones de Malasia, Watson (1964, 1973) ha notificado que en un determinado terreno, ocho años después de la gemación, el total presente de calcio, magnesio y potasio en los árboles era de un orden análogo al contenido en oaciones de los 30 cm superficiales del suelo. A los 33 años después de la gemación, las cantidades de potasio y magnesio inmovilizadas eran casi las mismas que sus contenidos totales respectivos en los 100 cm superficiales del suelo, y la cantidad de calcio era realmente mayor (véase Cuadro 1.4). De esto Watson dedujo dos observaciones importantes. En primer lugar, los elementos nutritivos se inmovilizan progresivamente en el interior de los árboles mismos, de esa forma, agotan el suelo de la fracción más fácilmente asimilable y por tanto, necesitan una fertilización regular. En segundo lugar, que sería de

<sup>1/</sup> Total acumulado de recolecciones anuales.

gran utilidad si los elementos nutritivos presentes en las especies viejas pudiesen ser devueltos al suelo en el momento de la replantación. Cuando se extrae la madera cortada del caucho en el lugar de corta, se produce una pérdida importante de los elementos nutritivos almacenados y, por tanto, el terreno entra en su segundo ciclo de plantación en un estado de empobrecimiento extremo, haciéndose evidente rápidamente la carencia de elementos nutritivos. En las plantaciones de caucho bien ordenadas, se elimina este riesgo mediante una aplicación regular de fertilizantes. Las dosis de aplicaciones recomendadas (Watson, 1973) deben elevarse hasta 320 kg/ha/año de fertilizantes, conteniendo 75 kg de elementos nutritivos elementales (N, P, K, Mg).

El cacao es otra plantación de cultivo practicada sobre una gran variedad de suelos derivados, por ejemplo, de rocas basálticas (monsonite) en Brasil, de granito/gneiss con vetas de inyección básicas en Africa, y rocas sedimentarias y metamórficas en Trinidad. Este cultivo absorbe una elevada cantidad de las reservas minerales del suelo y, por tanto, los buenos suelos para el cacao se espera que, por regla general, sean ricos en sustancias nutritivas. Los datos de Zeller (citado por Dierendonck, 1959) indican que en Guadalupe la producción de 1 000 kg de frijoles secos exige del suelo 20 kg de N, 4,4 kg de P, 10,46 kg de K, 1,61 kg de Ca y 3,2 de Mg. Según Hardy, en Trinidad, en 1 000 kg de granos y cáscaras secas de cacao contienen 44 kg de N, 3,6 kg de P y 5 kg de K, en tanto que Humphreys, también en Trinidad, ha hallado que 600 kg de granos secos correspondientes a unos 1 000 kg de vainas secas o 5 000 kg de frutos frescos de cacao, contenían 65 kg de minerales, de los cuales 22,4 kg de K, 3,6 kg de Ca y 4,8 kg de Mg, además de unos 16 kg de N, y el 70 por ciento del cual se encuentra en la envoltura (cáscara) del fruto (Dierendonck, 1959). No obstante, debe recordarse que las cifras citadas representan solamente una parte de los elementos nutritivos totales absorbidos anualmente por el cultivo. El resto queda almacenado en las partes vegetativas.

Una buena cosecha de 16 800 kg/ha de tubérculos de mandioca, cultivo conocido como "agotador", contiene unos 37 kg de N, 5 kg de P, 97 kg de K, 9 kg de Ca (Nye, 1958). Nye y Greenland (1964) han calculado una pérdida de 1 200-1 700 kg/ha de Ca, 500-800 kg/ha de K y 250-350 kg/ha de Mg en los 30 cm superficiales del suelo, después de dos años de cultivo y de recolección mecanizados del maíz/yuca (mandioca), en Ghana. De estos totales, solamente 100 kg de Ca, 400 kg de K y 50 kg de Mg se perdieron debido a la recolección; la pérdida del resto fue debida a la lixiviación o erosión.

Se han notificado pérdidas análogas en la recolección del café. Por tanto, en todos los casos, el suelo ha perdido cantidades importantes de elementos nutritivos durante las operaciones de la recolección o como resultado de la lixiviación y erosión. Existe poco fundamento para suponer que el cultivo de especies forestales de crecimiento rápido, en una forma análoga a las mencionadas más arriba, mejorará la productividad del suelo; a menos que se tomen medidas correctoras deliberadamente, lo más probable es que la reduzcan.

Cuadro 1.4

COMPONENTES QUE ENTAN EN EL CICLO DE LOS ELEMENTOS NUTRITIVOS EN UNA PLANTACION DE CAUCHO  
(kg/ha)

Concepto	K	Ca	Mg	P
	Total	Inter- cambio	Total	Inter- cambio
<b>Suelo:</b>				
Derivado de granito, 4 años después del	444	162	308	208
desbroce de la selva	1221	329	650	409
			132	56
			358	125
<b>Plantas de cobertura:</b>				
Leguminosas rastreas 2 años después de la plantación	109,4	114,0	33,5	283,5
4 años después de la plantación	23,9	42,9	6,8	106,5
<b>Arboles de caucho (Clon RRIM 501)</b>				
2 años después de la gemación: 450 árboles/ha	41,6	34,8	14,1	72,1
4 años después de la gemación: 413 árboles/ha	187,3	168,4	62,7	350,7
8 años después de la gemación: 325 árboles/ha	289,9	414,6	85,0	558,0
33 años después de la gemación: 270 árboles/ha	1050,7	1796,0	323,2	1602,2
				227,1
<b>Restitución anual de los residuos vegetales:</b>				
gemación de 4 años de edad: solamente hojas:				
413 árboles/ha buena cobertura de rastreas	1,9	109,3	5,8	44,2
cubierta viva de gramíneas	0,9	31,2	2,6	20,6
gemación de 11 años de edad: 295 árboles/ha, hojas y ramas	20,0	193,3	9,4	114,2
gemación de 31 años de edad: 220 árboles/ha, hojas y ramas	14,3	57,7	6,2	78,2
				5,3
				3,6
				5,4
				2,9

## Capítulo 2

### EMPLAZAMIENTO DE LAS ZONAS ESTUDIADAS

Este estudio se ha llevado a cabo en zonas de las regiones tropicales húmedas, situadas entre 5° y 22° de latitud Norte del ecuador, y comprende visitas a las principales zonas de plantación en Nigeria, Sierra Leona, Gambia, Norte de Brasil, Surinam y Belize (véase figura 2.1). Las especies investigadas han sido la Gmelina arborea y Pinus caribaea.

#### 2.1 Vegetación natural

En zonas relativamente no perturbadas puede encontrarse el bosque tropical de alto clímax, generalmente de especies múltiples. Dentro de la región geográfica estudiada pueden descubrirse un amplio espectro de tipos de vegetación, pero en la costa Oeste de Africa, son dignos de mención el bosque higrofitico de las tierras bajas, como en las zonas de plantación de Nigeria, el bosque higrofitico semicaduco de Sierra Leona, y la sabana arbolada semicaduca de Gambia. No obstante estos bosques no son todos clímax, y pueden descubrirse numerosos bosques secundarios y degradados de especies resinosas de rápido crecimiento. Los bosques tropicales húmedos siempreverdes del Brasil, Surinam y Belize son equivalentes a los bosques higrofiticos tropicales de Africa occidental. Estos bosques comprenden un gran número de especies leñosas, de las cuales, la mayoría tienen un follaje siempreverde. Algunos de los árboles altos están sostenidos, en la base de sus troncos, mediante contrafuertes en forma de plancha. Las lianas y las epífitas son evidentes y, en los trópicos americanos, las epífitas Orchidaceae y Bromeliaceae constituyen usualmente una parte importante del bosque (FAO, 1971).

#### 2.2 Clima

##### 2.2.1 Distribución de las precipitaciones

Las zonas objeto de estudio se encuentran efectivamente bajo la influencia de los vientos alisios y monzónicos y la distribución de las precipitaciones es, en la mayoría de los casos, de forma bimodal, oscilando entre 1 500 mm por año, en Gambia, hasta 3 040 mm por años en la zona de Stan Creek, en Belize. Los períodos de tiempo seco, que duran de tres a seis meses, se presentan durante noviembre y marzo en Africa occidental y en las partes septentrionales de América Central, y desde julio a diciembre en las zonas más ecuatoriales de Sudamérica.

##### 2.2.2 Regímenes de temperatura

Como era de esperar, esta región geográfica se caracteriza por temperaturas elevadas, las que en ningún momento son menores de 20°C y bastante frecuentemente alcanzan los 30°C.

#### 2.3 Geología y distribución de los suelos

La geología de la zona estudiada es muy variada, con un complejo basal de rocas graníticas ácidas y gneisses, en determinadas partes de Nigeria y Sierra Leona, y depósitos de arenas bastantes recientes, esquistos arcillosos y piedras areniscas, como puede observarse en la plataforma continental de Gambia, y en las cotas más altas del antiguo valle Níger-Benue, en el estado de Bendel de Nigeria, y en determinadas partes de Amazonia.

CONTINENTES DEL MUNDO (resumidos)

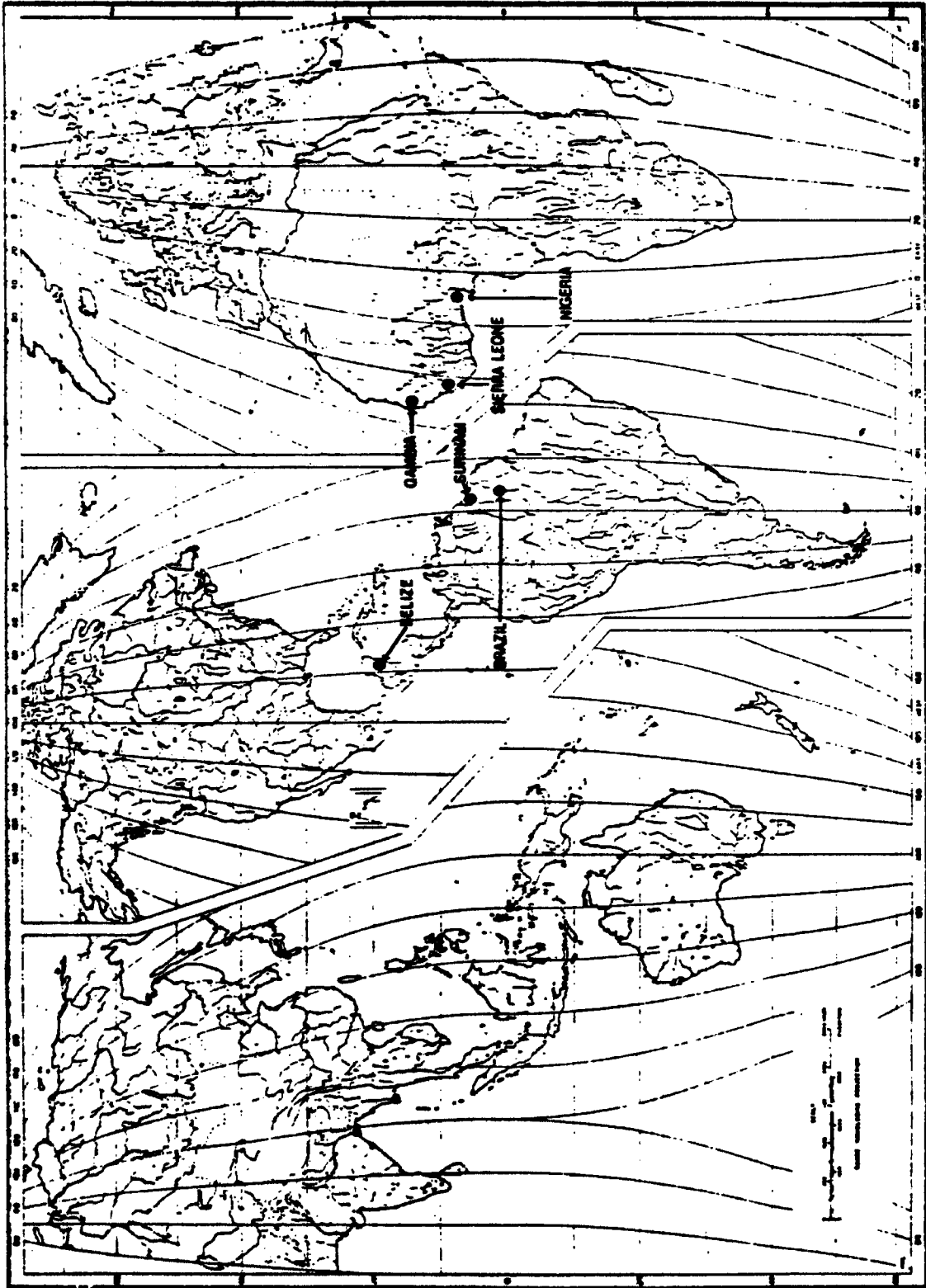


Figura 2.1

SITUACION GEOGRAFICA DE LAS ZONAS ESTUDIADAS

### 2.3.1 Nigeria

El eje Uromi-Ubiaja del Estado de Bendel, de Nigeria, está situado sobre la formación pedológica dominante del delta de Benin. Estas 'arenas ácidas', como se les llama, tienen una coloración de un rojo fuerte y están bien, o excesivamente bien drenadas y son profundas. En el sistema mundial de clasificación (FAO/Unesco, 1974) se les clasificaría, por regla general, en la categoría de nitosoles eútricos. Se encuentran también algunos arenosoles en asociación con este tipo dominante.

Los suelos de la zona de Omo-Ajebandele se han formado sobre el complejo basal y los tipos dominantes son aquellos que se han descrito localmente con los nombres de series Iwo y Egbeda (Smyth y Montgomery, 1962). Estos corresponden, aproximadamente, a los luvisoles férricos del sistema mundial de clasificación. Sobre las pendientes inferiores y en los valles de los ríos se encuentran en asociación suelos de capas detriticas de la serie Apomu, correspondientes a los cambisoles sátricos (FAO/Unesco, 1974).

### 2.3.2 Sierra Leona

Las plantaciones de Gmelina se encuentran situadas, principalmente, en los suelos de complejo basal de granito y gneisses ácidos, y se encuentran en la meseta interior y en la región de las colinas, que se extiende desde el Norte del país hasta la provincia oriental. Los suelos de esta zona corresponden principalmente a los ferralsoles plínticos (FAO/Unesco, 1974). Dentro de muchos suelos se presentan en diferentes combinaciones piedras ferruginosas, cuarzo y gravas de roca fresca en descomposición en cantidades, formas, colores y durezas diversas.

Aluviones del pleistoceno y aluviones recientes, que se denominan localmente "serie Bullon" (Odell et al., 1974) están muy difundidos en las zonas costeras, y constituyen los suelos principales sobre los que se han establecido las plantaciones de pino de la zona de Bradford. Por regla general, pueden clasificarse como fluvisoles eútricos. La gama de coloraciones de los subsuelos no es grande. Los matices rojo y pardo están asociados con las pendientes abruptas y bien drenadas, las coloraciones amarillas y pardo-amarillento con los suelos moderadamente bien drenados y pendientes menos acentuadas. Las manchas de color y los colores grises con los suelos escasamente drenados o muy inundados del fondo de los valles. Los suelos de la provincia oriental (Stark, 1968) poseen unas bajas capacidades de intercambio de bases y contienen una cantidad muy pequeña total de bases intercambiables. El porcentaje de saturación en bases es extremadamente bajo en toda su extensión. La reacción del suelo es de ácido a muy ácido. El caolín es el principal mineral arcilloso, la gibbsita se presenta en cantidades más pequeñas y, ocasionalmente, se presenta igualmente la clorita.

### 2.3.3 Gambia

Los suelos del "Nyambai Forest Park", donde se encuentra la mayoría de las plantaciones, se han formado a partir del aluvión de la plataforma continental elevada. Dunsmere et al., (1976) han clasificado estos suelos como muy raramente limitados en profundidad por un alio ferruginoso (cuirasse), a diferencia de los suelos típicos del "terminal continental". Algunas veces, se encuentran capas de pedregosas en el interior de perfiles normales y, algunas veces, capas de infiltración de alios ferruginosos in situ, especialmente en la conjunción con el depósito coluvial. Estos suelos se clasifican generalmente como fluvisoles tínicos (FAO/Unesco, 1974).



#### 2.3.4 Brasil (Jari Florestal)

La zona forestal de Jari se encuentra, principalmente, entre Río Jari y Paru, y comprende una variedad de suelos en asociación, pero que difieren grandemente en sus características texturales. Esto explica los diferentes proyectos agroforestales que se han emprendido en dicho lugar. Sobre la base de experiencias anteriores, los administradores de este parque han destinado, en principio, los suelos de textura ligera a media, para el cultivo del pino y los suelos de textura media a ligeramente gruesa para el cultivo de Gmelina arborea y, quizás en el futuro, con introducciones de frondosas. Entre los terrenos de plantación dotados de un buen drenaje de este parque, se encuentran los suelos franco arenosos a los franco muy arenosos en la parte Sur, que provienen, probablemente, de sedimentos terciarios (arenosoles ferrálicos), y el podsol rojo-amarillo que procede probablemente de los esquistos arcillosos devonenses, y que tienen una textura media a gruesa y que se encuentran en la parte Norte del parque. Estos últimos suelos entran, aproximadamente, dentro de la categoría de los nitosoles dístricos (FAO/Unesco, 1974) con algunos acrisoles plínticos en asociación. No se les prestó una atención especial a los otros tipos de suelos de la zona estudiada, porque no forman grandes formaciones continuas en las zonas plantadas, si bien algunos de ellos son más ricos que aquéllos que tienen una cubierta arbolada.

#### 2.3.5 Surinam (Blakkawatra y Coesewigne)

Los proyectos de reforestación en Surinam están limitados a la parte Norte del país, al Sur de la capital, donde la accesibilidad es mucho más fácil. La topografía general de Sur a Norte podría dividirse en la forma siguiente: zona del interior, zona de aluviones continentales y llanuras costeras (Slager y Saro, 1967). La zona de aluviones continentales, conocida también con el nombre de formación Zanderij, que se extiende al Norte de la formación rocosa ígnea de la zona del interior y parte de la plataforma de Guayana, se compone principalmente de sedimentos no consolidados, que varían desde arena a arcilla. El material arenoso recubre las rocas del interior hasta profundidades que varían, desde unos pocos metros, en la parte Sur, hasta 75 metros, en la parte Norte. Se extiende, igualmente, al Este y Oeste del río Surinam, en las zonas de Blakkawatra y Coesewigne, respectivamente, y sobre una superficie de terreno más extensa en esta última. Esta zona es, por regla general, de baja altitud (6-50 m, de Norte a Sur) con algunos pantanos, pero las plantaciones de pinos, que son la principal especie cultivada, están plantadas en los terrenos con mejor drenaje, que pertenecen, según cada caso, a las clases locales 2, 3 y 4 en la clasificación local de calidad de los suelos. La transición de los suelos del tipo más residual del interior hacia los suelos más arenosos de la zona de aluviones continentales se representa esquemáticamente en la figura 2.2. Una de las características peculiares de los suelos cubiertos de bosques naturales en esta zona es la presencia de una cubierta de materia orgánica, de un espesor variable, que va disminuyendo desde los suelos forestales altos a los suelos bajos de la sabana forestal. Cuando se encuentran pendientes de más del 4 por ciento, los suelos, por regla general, están truncados, al haber perdido una gran parte de su capa superficial orgánica, dejando unos perfiles decolorados y arenosos profundos, que soportan solamente matas de hierba y estratos arbustivos bajos. Según las observaciones de carácter general hechas en el campo, parece ser que el crecimiento de los pinos mejora en el orden siguiente: arena decolorada + poca cantidad de M.O.<sup>1/</sup> → arenas decoloradas + una fuerte cantidad de M.O. → arena pardo claro + cantidad aún mayor de M.O. → material residual + arena parda + cantidad máxima de M.O. (ver figura 2.2). Las unidades pedológicas correspondientes serían probablemente los arenosoles albi-ces y los arenosoles ferrálicos (FAO/Unesco, 1974) con algunos acrisoles plínticos en asociación.

---

<sup>1/</sup> M.O. = Materia Orgánica.

### 2.3.6 Belize

Las plantaciones de Gmelina arborea y Pinus caribaea visitadas en las reservas forestales de Stan Creek están situadas en suelos residuales formados a partir de materiales micáceos, gneisses graníticos, cuarcitas y areniscas. Se presentan una gran variedad de tipos de suelo, incluso los suelos cálcicos, pero solamente se estudiarán los suelos cubiertos por especies de plantaciones de interés para este informe. Los suelos formados a partir de cuarcitas y areniscas son de una fertilidad relativamente baja y están cubiertos solamente de una escasa vegetación natural. En la mayoría de los casos, son un tanto esqueléticos (litosoles). Los suelos derivados de esquistos arcillosos y de granitos contienen reservas más abundantes de elementos nutritivos, son más profundos, más rojos y, por regla general, están bien estructurados, y tienen una cubierta forestal más exuberante y variada. En algunos lugares, los suelos esqueléticos tienen pendientes de 25-30° y, frecuentemente, se dejan cubiertos por un bosque protegido. Los suelos profundos sobre granito ocupan la zona de colinas de pendientes suaves y sus características generales permitirían agruparlos en la categoría de invisoles crómicos y férricos.

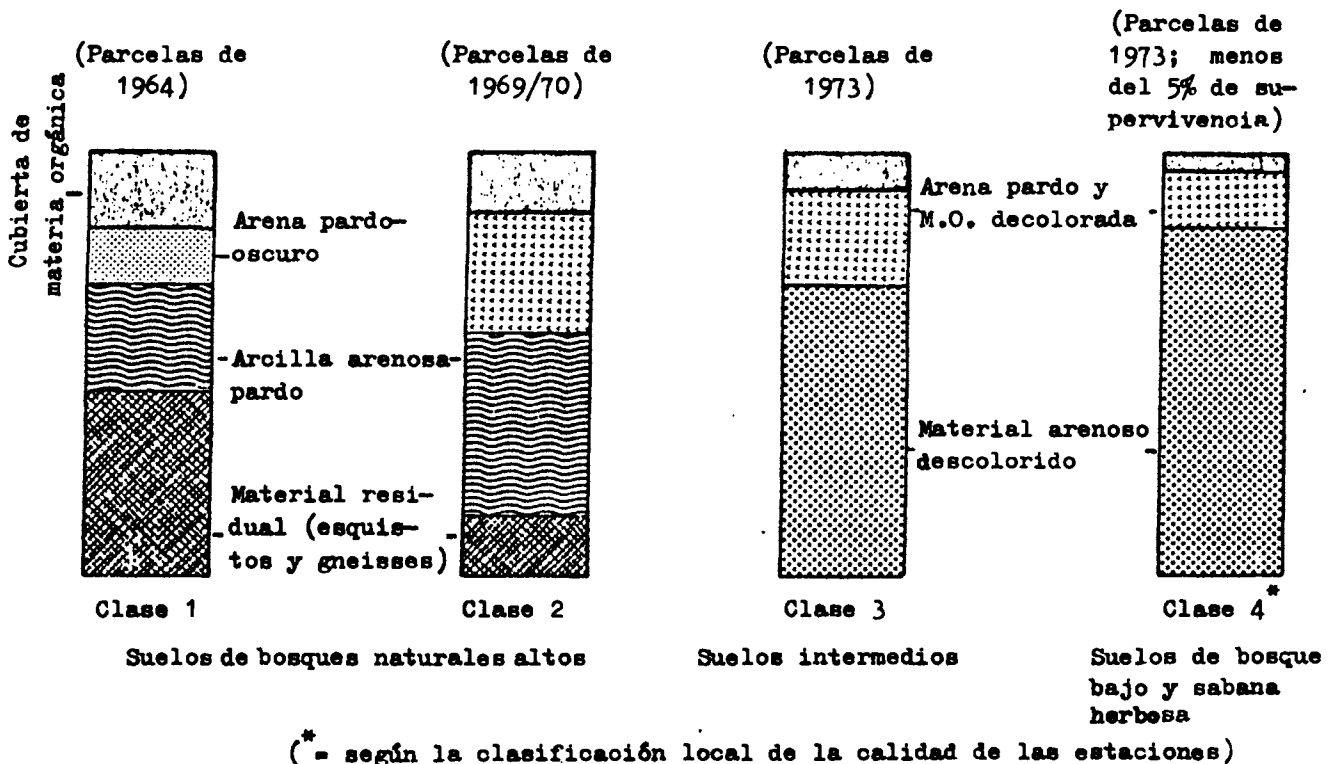


Figura 2.2

TRANSICIONES PEDOLOGICAS EN LA ZONA DE ALUVIONES CONTINENTALES EN SURINAM  
(todas las parcelas cultivadas con Pinus caribaea)

## 2.4 Forestería de plantación en las zonas estudiadas

La forestería de plantación en las zonas tropicales visitadas utilizan un gran número de especies. Entre las muchas que se encontraron pueden citarse el Eucalyptus spp., Pinus spp., Gmelina arborea, teak, Cedrela odorata, Terminalia ivorensis y superba. Las superficies cubiertas oscilaban desde algunas centenas a millares de hectáreas.

### 2.4.1 Técnicas de establecimiento

En términos generales, los métodos de establecimiento de las plantaciones eran análogos, y consistían en transformar el bosque-climax en un bosque secundario, después de explotar la madera comerciable, en plantaciones de determinadas especies. No obstante, los detalles variaban en algunos casos. Normalmente, se procedía a la corta de los árboles y todo el material no comercializable y el sotobosque se dejaba secar in situ, y después se quemaba. La práctica de amontonar los restos en hileras antes y después de proceder a la quema, no constituye la práctica usual en Nigeria, Brasil y Sierra Leona, pero esta práctica sí se sigue en Surinam para facilitar los trabajos del equipo de movimiento de tierras. Se ha demostrado que la operación de amontonar el material en filas y otras operaciones de cultivo, utilizando máquinas pesadas, son perjudiciales para mantener las buenas condiciones del suelo y no debe fomentarse su empleo. Se procede a la plantación una vez que han comenzado las lluvias, cuando las especies jóvenes pueden beneficiarse del temprano aporte abundante de elementos nutritivos de la estación de lluvias. Excepto en Jari Florestal, donde se emplea mano de obra asalariada para las operaciones de establecimiento de las especies, en la mayor parte de las zonas de plantación de los trópicos se sigue un sistema de Taungya (especialmente con las especies de frondosas), por el que se autoriza a los agricultores a cultivar la tierra a cambio de prestar cuidados a los árboles jóvenes. Este proceso, que implica el crecimiento de cosechas alimentarias, tales como la yuca (mandioca), maíz y otras plantas no trepadoras, se continúa hasta que se cierra la cubierta de copas. Después de esto, los cuidados silvícolas no se prestan más que una o dos veces al año, o cuando se considera necesario. En las plantaciones de Gmelina arborea, el espaciamiento puede variar de un lugar a otro, pero, por regla general, es de 3 m x 3 m, y de 2,4 m x 2,4 m para los pinos. En Surinam se han utilizado también los herbicidas químicos. Pero estos herbicidas pueden tener efectos dañosos para las poblaciones y la actividad de los micro-organismos, en tal medida que pueden retardar la biodegradación, desacelerando, de esta forma, el importante proceso del ciclo de los elementos nutritivos.

### 2.4.2 Datos sobre la plantación de monocultivos y distribución de los suelos en las zonas visitadas

En el Cuadro A.1, de la página 72, se indican los datos sobre las especies, la extensión y el tipo de suelos de las zonas visitadas. La superficie total de las plantaciones enumeradas en el cuadro es superior a 170 000 ha.

## Capítulo 3

### MÉTODOS

#### 3.1 Metodología general

Según se ha indicado anteriormente, un objeto de este estudio era el de comparar las propiedades de los suelos con monocultivos de Gmelina y Pinus caribaea de diferentes edades con las de los suelos con masas de especies indígenas, situadas en la proximidad sobre el mismo material geológico/pedológico. Se midieron igualmente las cantidades de elementos nutritivos contenidas en las partes aéreas de los árboles de las plantaciones y en la hojarasca. A continuación se hizo un intento para establecer una especie de presupuesto de elementos nutritivos, con el que poder cuantificar las pérdidas brutas y las pérdidas netas resultantes de la explotación forestal.

#### 3.2 Muestreo de los suelos

##### 3.2.1 Intensidad del muestreo

Las intensidades requeridas de muestreo varían considerablemente con las propiedades del suelo, la microtopografía, el tipo de suelo, la vegetación y la forma de utilización de las tierras. Lundgren (1977) midió determinadas propiedades del suelo en 100 puntos, distribuidos uniformemente en un bosque siempreverde sobre un suelo franco-arcilloso caolínico (que es muy común en la mayor parte de los suelos tropicales) y descubrió que, al límite de confianza del 95 por ciento, en una parcela de 2 500 m<sup>2</sup>, bastaba tomar un mínimo de 9 muestras para determinar la densidad aparente, 5 para determinar la densidad del pH, y unas 34 muestras aproximadamente para efectuar el análisis químico. Sobre esta base, se decidió que para el plan de muestreo principal de los suelos se tomaran 40 muestras al azar en esta parcela 2 500 m<sup>2</sup>. Las muestras extraídas con sonda pedológica se agruparon para proceder al análisis físico y químico. Se tomaron igualmente muestras para el análisis físico y químico de los horizontes genéticos indicados por la morfología de los perfiles del suelo. En las parcelas de Brasil se midieron la densidad aparente y la porosidad (ver Cuadro A10 en la página 90).

En el plan principal de muestreo de los suelos se utilizó un mínimo de un par de parcelas en cada localidad, una en la plantación y otra en el bosque natural adyacente, sobre el mismo tipo de terreno. En cada una de las zonas nigerianas consideradas, Ubiaja y Omo-Ajebandele, había tres parcelas, una en el bosque natural y las otras dos en dos clases de edad de una plantación de Gmelina. En Sao Miguel, en Brasil, había tres parcelas, una en el bosque natural y las otras dos en las plantaciones de Gmelina y de P. caribaea de la misma edad. En todas las parcelas del plan de muestreo principal de los suelos se excavaron fosas pedológicas y se recogieron con sonda muestras compuestas, además de tomar muestras de la vegetación.

En unas cuantas zonas de plantaciones, por ejemplo Omo-Ajebandele, fue posible localizar especies cuyos árboles se repartían en toda una gama de clases de edad anuales. Esto permitió efectuar un muestreo suplementario para seguir la evolución de las propiedades del suelo con la edad de la plantación. Se delimitó una parcela de un cuarto de hectárea para cada una de las diferentes clases de edad representadas sobre el mismo suelo y se tomaron y agruparon para su análisis 40 muestras al azar, mediante sonda a una profundidad de 0-10, 10-20 y 20-40 cm.

Las propiedades físicas y químicas de los 40 cm superficiales revistieron un interés especial, porque esta capa se considera la más importante desde el punto de vista de la labranza del suelo y de la retención del agua, además del hecho de que la mayor parte de las raíces absorbentes se encuentran en esta zona. Estadísticamente hubiera sido preferible incrementar el número de parcelas por clase de edades, pero no se dispuso ni del tiempo suficiente ni del material necesario.

### 3.2.2 Morfología del suelo

En el curso de un estudio de reconocimiento, se tomaron muestras mediante sonda para seleccionar zonas representativas en las plantaciones y en el bosque natural adyacente. Se hicieron igualmente observaciones sobre las variaciones de las características del suelo con la topografía. Según el tipo de topografía, se excavaron en cada parcela tres o cuatro fosas, se registraron las características megascópicas y la descripción completa de los perfiles, y, por lo menos, en cada caso, se tomó la muestra de un perfil representativo.

### 3.2.3 Procedimientos de análisis de los suelos

Se desparramaron las muestras del suelo para que se secasen al aire y una vez completamente secas, se pasaron por un tamiz de una malla de 2 mm. A continuación, las muestras destinadas al análisis de los elementos nutritivos totales y del carbono total se pulverizaron para que pudiesen pasar a través de un tamiz de una malla de 100 Rs, en algunos casos de 250 Rs, tomando cuidado para evitar una pérdida diferencial del polvo fino.

En Brasil, en los casos en que pudo disponerse de los medios técnicos necesarios, se tomaron muestras del núcleo del suelo, destinadas a la determinación de la densidad aparente, de la porosidad y del contenido de humedad y aire en los perfiles situados aproximadamente en la mitad entre los horizontes A y B.

Los análisis físicos de los suelos de las parcelas de Brasil han proporcionado resultados sobre las siguientes propiedades:

- i) Distribución de la dimensión de las partículas, utilizando el método con hidrómetro de Bouyoucos, después de eliminar la materia orgánica por oxidación con agua oxigenada y dispersión con Calgon al 5 por ciento.
- ii) Distribución del espacio ocupado por los poros, utilizando la técnica de la succión descrita en Black (1965).
- iii) Se determinó la densidad aparente empleando un cilindro de tierra seca. Se obtuvo igualmente el porcentaje de humedad. Cuando no se dispuso de núcleos del suelo se aplicó el método aproximado de Jeffrey (1970), basado en una relación empírica entre la pérdida en la ignición y la densidad aparente.

En las otras parcelas, la determinación de las propiedades físicas se limitó a medir los porcentajes de arena, limo y arcilla en el suelo.

Se hicieron análisis químicos de:

- i) El pH de una suspensión de tierra en el agua a 1 : 2,5, utilizando un electrodo de vidrio.
- ii) La capacidad de intercambio de cationes (método por sumas).

- iii) Cationes extraíbles ( $\text{NH}_4\text{OAc}$  pH 7,0): Ca, Mg, K (Na).
- iv) P asimilable por extracción con la solución "Bray I".
- v) Acidez total (Al + H) por titulación con NaOH 0,1 N, después de la extracción con KCl 1 N.
- vi) Nitrógeno total mediante microkjeldahl.
- vii) Porcentaje en carbono orgánico por oxidación en solución (Walkey y Black, 1965).

### 3.3 Muestreo de plantas

#### 3.3.1 Masa de árboles

Se trataba de determinar el contenido total de elementos nutritivos de las partes aéreas de los árboles sobre la base de la superficie del suelo. En todos los sitios donde se llevaron a cabo estudios sobre el suelo, se tomaron muestras de tres árboles, comprendiendo uno dominante, uno relativamente hundido y otro de una altura media aproximada. Se recogió cuidadosamente todo el follaje, se pesó fresco sobre el terreno y se tomaron submuestras para el secado y el análisis. Este mismo método se utilizó para la madera de tronco y la madera de ramas. La madera del tronco se cortó en longitudes y se pesó fresca y se tomaron discos-muestras de 3,81 cm de espesor a 10, 30, 50, 70 y 90 por ciento de la longitud, siendo su diámetro de 30 cm por encima de la base a 4 cm en la cima. A los discos se les quitó la corteza y se calculó su peso seco y su contenido de humedad.

#### 3.3.2 Otra vegetación y hojarasca

Las otras plantas y la hojarasca se recogieron en 12 parcelas de muestreo, distribuidas al azar en una parcela de un cuarto de hectárea, en la forma siguiente: el material de plantas en crecimiento se arrancó a mano y se pesó, la hojarasca no descompuesta comprendidas las pequeñas ramas de menos de 5 cm de diámetro fue igualmente recogida y pesada. Este material a continuación se secó y se tomaron sub-muestras para el análisis.

#### 3.3.3 Método de análisis de los tejidos vegetales

Se pesaron las sub-muestras tomadas del follaje, se lavaron y se colocaron en un horno con corriente de aire caliente a 70°C hasta que alcanzaron un peso constante. Los discos-muestras del tronco y las muestras de ramas, así como las muestras de la hojarasca, fueron tratados en la misma forma.

Se determinaron los contenidos de los elementos nutritivos de los tejidos vegetales mediante un método de digestión en estado húmedo con tres ácidos concentrados: nítrico, perclórico y sulfúrico. Se obtuvo el peso de los elementos nutritivos contenidos en la masa multiplicando la concentración de dichos elementos por los pesos estimados de diversos componentes.

### 3.4 Epoca del muestreo

Se planeó que la toma de muestras se iniciase al final de las precipitaciones fuertes, un momento en que la humedad del suelo es bastante constante y al parecer se reduce el crecimiento de los árboles. Pero fue difícil adaptar este programa a la secuencia climática de las temporadas de lluvias tanto en las zonas ecuatoriales como en las tropicales. Si bien el muestreo en Nigeria y en otros países de África occidental se llevó a

cabo después de la cesación de las lluvias fuertes, en Brasil, Surinam y Belice, el muestreo se realizó cuando ya habían comenzado las precipitaciones.

### 3.5 Otras fuentes de aportación y extracción de los elementos nutritivos

Nye (1961) y Golley (1975) han señalado importantes adiciones de elementos nutritivos debidos a las precipitaciones en las regiones tropicales húmedas. En las estaciones visitadas solamente pudo obtenerse muy poca información. Faltaron por completo datos sobre la tasa anual de meteorización del material de origen de los suelos, que podían haberse utilizado como base para calcular la movilización de los elementos minerales resultantes de la degradación de las rocas. Fredriksen (1972) estima que las cantidades extraídas por los cursos de agua provienen muy probablemente de la meteorización de los minerales. Debido a la falta de tiempo no se pudieron hacer mediciones de las pérdidas de los elementos nutritivos debidas a la lixiviación y erosión. Podía esperarse que tales pérdidas fuesen importantes en las zonas con pendientes pronunciadas y con una cobertura vegetal escasa. No obstante, tanto los bosques como los pisos inferiores, normalmente, son tan densos en la mayoría de estas zonas que es posible que las pérdidas de elementos nutritivos resultantes de la erosión y de la lixiviación no sean muy importantes.

Capítulo 4

RESULTADOS

4.1 Contenido de elementos nutritivos de los árboles y de la hojarasca

4.1.1 Gmelina arborea

a) Producción de biomasa

En el Cuadro 4.1 de más abajo, se compara la producción de biomasa (peso seco) por encima del suelo para las cuatro plantaciones "P. 1973" de Gmelina arborea (G.a.) y la plantación "P. 1973" de Pinus caribaea (P.c.). Estas cifras se han derivado del Cuadro A4 de la página 77 y se ha indicado, igualmente, el incremento medio anual (IMA) de la biomasa. Se han insertado también los datos relativos a las dos plantaciones de Gmelina más viejas de Nigeria, con objeto de mostrar el efecto de la longitud de la rotación sobre el IMA de la producción de biomasa. Los datos originales se indican en las tablas A2 y A3 (pesos frescos y contenido de humedad de los árboles individuales y de la biomasa media) en las páginas 75 y 76 y en el Cuadro A4 (peso seco medio de la biomasa) en la página 77.

Cuadro 4.1

PRODUCCION DE BIOMASA POR ENCIMA DEL SUELO (PESO SECO)

Emplazamiento geográfico	Spp.	Tipo de suelo	Total	Producción madera de tronco (toneladas/ha)	Madera de tronco %	IMA (ton/ha/año) Total	Madera de tronco
<u>a) Plantaciones P.1973</u>							
<u>Brasil</u>							
Pacanari (edad 6 años)	G.a.	Dístrico Nitosol	122,0	79,3	65	20,3	13,2
Sao Miguel (edad 6 años)	G.a.	Ferrálico Arenosol	55,9	43,2	77	9,3	7,2
Sao Miguel (edad 6 años)	P.c.	Ferrálico Arenosol	66,0	46,8	71	11,0	7,8
<u>Nigeria</u>							
Zona de Ubiaja (edad 5,5 años)	G.a.	Dístrico Nitosol	63,4	51,0	80	11,5	9,3
Omo-Ajebandele (edad 5,5 años)	G.a.	Ferrico Luvisol	136,7	114,4	84	24,9	20,8
<u>b) Plantaciones más viejas</u>							
Zona de Ubiaja P.64 (edad 14,5 años)	G.a.	Dístrico Nitosol	105,6	76,4	72	7,3	5,3
Omo-Ajebandele P.66 (edad 12,5 años)	G.a.	Ferrico Luvisol	170,5	145,4	85	13,6	11,6



Es evidente que, tanto en Brasil como en Nigeria, existe una gran diferencia entre la producción de biomasa de Gmelina según los tipos de suelo. Los terrenos P. 1973 Pacanari y Omo-Ajebandele han producido, respectivamente, el doble de biomasa que los terrenos más pobres, de Sao Miguel y Ubiaja.

La comparación entre las parcelas con las plantaciones más viejas (P. 1964 y 1966) con las parcelas P. 1973, en Nigeria, sugieren que el IMA de biomasa disminuye considerablemente con la edad. Incluso aunque la masa en pie sea comparable en todas las parcelas, el IMA en las parcelas más viejas es ligeramente más de la mitad que el IMA en las parcelas más jóvenes, tanto en la zona de Omo-Ajebandele como en la de Ubiaja.

En las parcelas plantadas de Gmelina el porcentaje de madera de tronco en el peso seco de la biomasa por encima del suelo varía del 65 por ciento (P. 1973 Pacanari) al 85 por ciento (P. 1966 Omo-Ajebandele).

b) Porcentaje de elementos nutritivos

En el Cuadro 5 de la página 78 se resumen los contenidos de elementos nutritivos de Gmelina arborea (en porcentaje de peso seco) en cuatro parcelas nigerianas y dos brasileñas. En el Cuadro que se indica más abajo (Cuadro 4.2) se dan las cifras medias para el conjunto de las parcelas.

Cuadro 4.2

GMELINA ARBOREA, MEDIA DE SEIS PARCELAS

(según el Cuadro A5)

Contenido en elementos nutritivos (% del peso seco) por componente						
	N	P	K	Ca	Mg	Total
Follaje	2,07	0,23	1,16	0,57	0,43	4,46
Madera de tronco	0,16	0,02	0,37	0,17	0,03	0,75
Relación (follaje/madera de tronco)	13:1	11,5:1	3,1:1	3,4:1	14:1	6:1
Madera de ramas	0,27	0,04	0,43	0,21	0,15	1,10
Corteza	0,55	0,06	0,59	0,69	0,22	2,11

El porcentaje máximo del peso seco de los cinco elementos más importantes se encuentra en el follaje seguido de corteza, madera de ramas y madera de tronco, por este orden. Este orden es relativamente congruente para la mayor parte de los elementos en la mayor parte de las parcelas, excepto que el porcentaje de Ca en la corteza es tan elevado o más elevado que en el follaje. La relación del contenido de follaje respecto a la madera de tronco se encuentra entre 10:1 y 15:1 para N, P y Mg, pero solamente de 3:1 para K y Ca.

En el follaje, N tiene siempre el porcentaje más elevado de elementos nutritivos, y P el más pequeño (aproximadamente una décima parte del contenido de N). Los contenidos de K, Ca y Mg son intermedios, por orden decreciente, pero con algunas variaciones posibles según las parcelas. K es siempre el elemento nutritivo más abundante en la madera de tronco seguido de Ca o N, y Mg y P siempre son los elementos menos abundantes (menos de una décima parte del contenido de K).

En el Cuadro 4.3 se presenta el contenido en elementos nutritivos de todo el árbol (porcentaje del peso seco), después de ponderar el contenido de los componentes del árbol mediante la biomasa apropiada. Podrá observarse que los suelos más fértiles de Nigeria y Brasil, Omo-Ajebandele y Pacanari, tienen un porcentaje de elementos nutritivos superior que sus respectivos suelos menos fértiles de Ubiaja y Sao Miguel. Esta tendencia (contenido igual o superior en los suelos más fértiles) se aplica a todos los cinco elementos, con excepción de Mg, cuyo contenido es uniformemente superior en los suelos menos fértiles.

El contenido de elementos nutritivos es menor en las parcelas más viejas de Ubiaja y Omo-Ajebandele que en las parcelas correspondientes más jóvenes. La única excepción es Ca, del cual las parcelas más viejas tienen un contenido superior que las parcelas más jóvenes. No obstante, el Cuadro A5 de la página 78 indica que la tendencia a una reducción del contenido de elementos nutritivos en las parcelas más viejas no es uniforme respecto a cada una de las partes constituyentes del árbol situadas por encima de la superficie del suelo.

Cuadro 4.3

CONTENIDO DE ELEMENTOS NUTRITIVOS (% DEL PESO SECO)

Arbol entero (contenido ponderado de los componentes en función de la biomasa)								
Spp.	Edad	N	P	K	Ca	Mg	Total	
<u>Nigeria</u>								
Ubiaja	G.a.	5-6	0,25	0,02	0,53	0,10	0,15	1,05
Ubiaja	G.a.	14-15	0,19	0,02	0,20	0,19	0,08	0,68
Omo-Ajebandele	G.a.	5-6	0,30	0,04	0,76	0,40	0,04	1,54
Omo-Ajebandele	G.a.	12-13	0,22	0,02	0,59	0,45	0,03	1,31
<u>Brasil</u>								
Pacanari	G.a.	5-6	0,29	0,05	0,17	0,15	0,06	0,72
Sao Miguel	G.a.	5-6	0,23	0,04	0,17	0,08	0,07	0,59
Sao Miguel	P.c.	5-6	0,30	0,05	0,07	0,12	0,04	0,58

c) Extracciones de elementos nutritivos debidas a la explotación forestal

Para calcular las cantidades de elementos nutritivos (kg/ha) contenidos en los árboles y en sus partes componentes, se han multiplicado los porcentajes del peso seco de los diferentes elementos nutritivos por los pesos secos de las partes correspondientes del árbol (madera de tronco, madera de ramas, etc.). Estos valores se indican en el Cuadro A7 de la página 81, para una serie de parcelas que abarcan las diferentes clases de edades y tipos de suelos. Los mismos datos se presentan en forma de diagramas en las figuras A18-A23 del Apéndice 4.

Parece ser que el potasio y el nitrógeno sean los dos elementos nutritivos siempre extraídos en cantidades importantes por Gmelina arborea, en tanto que Ca ha sido también absorbido en cantidades importantes en tres de las cuatro parcelas de Nigeria. El Cuadro 4.4 presenta, en forma condensada, los datos del Cuadro A7, al que se han añadido además la absorción media anual de elementos nutritivos. Podrá observarse que los elementos nutritivos contenidos en la madera de tronco más la corteza, que son los componentes normalmente extraídos en las operaciones de aprovechamiento, representan, en muchos casos,

**Quadro 4.4**

**ABSORCIÓN DE ELEMENTOS NUTRITIVOS (kg/ha)**

	N	P	K	Ca	Mg	Total
<u>Omelina, edad 5,5 años, Ubiaja</u>						
Contenido en la biomasa por encima del suelo	158	12	336	66	92	664
Absorción media anual en la biomasa por encima del suelo	28,7	2,2	61,1	12	16,7	120,7
Contenido en la madera de tronco y corteza	96	7	275	52	42	472
Absorción media anual en la madera de tronco y corteza	17,5	1,3	50	9,5	7,6	85,8
<u>Omelina, edad 14,5 años, Ubiaja</u>						
Contenido en la biomasa por encima del suelo	205	21	208	204	85	723
Absorción media anual en la biomasa por encima del suelo	14,1	1,45	14,3	14,1	5,9	49,9
Contenido en la madera de tronco y corteza	138	11	169	155	52	525
Absorción media anual en la madera de tronco y corteza	9,5	0,76	11,7	10,7	3,6	36,2
<u>Omelina, edad 5,5 años, Omo-Ajebandele</u>						
Contenido en la biomasa por encima del suelo	408	49	1039	553	51	2100
Absorción media anual en la biomasa por encima del suelo	74,2	8,9	188,9	100,5	9,3	381,6
Contenido en la madera de tronco y corteza	314	39	915	497	37	1802
Absorción media anual en la madera de tronco y corteza	57,1	7,1	166,4	90,4	6,7	327,6
<u>Omelina, edad 12,5 años, Omo-Ajebandele</u>						
Contenido en la biomasa por encima del suelo	374	31	1006	774	43	2228
Absorción media anual en la biomasa por encima del suelo	29,9	2,5	80,5	61,9	3,4	178,2
Contenido en la madera de tronco y corteza	278	19	844	711	27	1879
Absorción media anual en la madera de tronco y corteza	22,2	1,5	67,5	56,9	2,2	150,3
<u>Omelina, edad 6 años, Pacanari</u>						
Contenido en la biomasa por encima del suelo	352	63	208	185	79	887
Absorción media anual en la biomasa por encima del suelo	58,7	10,5	34,7	30,8	13,2	147,8
Contenido en la madera de tronco y corteza	182	38	136	108	51	515
Absorción media anual en la madera de tronco y corteza	30,3	6,3	22,7	18	8,5	85,8
<u>Omelina, edad 6 años, Sao Miguel</u>						
Contenido en la biomasa por encima del suelo	128	22	93	42	39	324
Absorción media anual en la biomasa por encima del suelo	21,3	3,7	15,5	7	6,5	54,0
Contenido en la madera de tronco y corteza	90	14	71	34	31	240
Absorción media anual en la madera de tronco y corteza	15	2,3	11,8	5,7	5,2	40,0
<u>P. caribaea, edad 6 años, Sao Miguel</u>						
Contenido en la biomasa por encima del suelo	197	33	46	78	25	379
Absorción media anual en la biomasa por encima del suelo	32,9	5,5	7,7	13	4,2	63,2
Contenido en la madera de tronco y corteza	99	21	31	25	17	193
Absorción media anual en la madera de tronco y corteza	16,5	3,5	5,2	4,2	2,8	32,2
<u>Datos comparativos de Tanzania (Lundgren, 1978)</u>						
<u>P. patula, edad 30 años, en Shume</u>						
Absorción media anual en la biomasa por encima del suelo	81	8	43	46	15	193
<u>P. patula, edad 30 años, en Shume</u>						
Absorción media anual en la madera de tronco y corteza	40	4	23	25	9	101

más de dos tercios del total. En el caso extremo de K, en la parcela más joven de Omo-Ajebandele, la absorción media anual ha sobrepasado de 180 kg/ha, de la cual nueve décimas partes de las cantidades absorbidas se encuentran en la madera de tronco y en la corteza. No obstante, parece ser que el contenido en K (kg/ha) no aumenta, más bien disminuye ligeramente después de la edad de seis años, en cuyo momento el contenido de calcio comienza a aumentar. Esta tendencia se observó especialmente en el suelo arenoso de textura ligera con un contenido reducido de K, en el que el contenido de calcio había excedido al del potasio al alcanzar los árboles su 15<sup>o</sup> año de crecimiento. No se observaron variaciones notables en las cantidades de Mg y de P inmovilizadas por los árboles en función de la edad.

d) La hojarasca en las plantaciones de Gmelina

En el Cuadro A4 (página 77) se incluyen los pesos secos de la hojarasca (incluyendo la cubierta vegetal) por hectárea, y en el Cuadro A5 (página 78) se indican los porcentajes de elementos nutritivos en las diferentes plantaciones. El contenido de elementos nutritivos en kg/ha se indica en el Cuadro 4.5. Se ha podido observar que existe una gran diferencia en el peso seco de la hojarasca, el cual es bajo, en las cuatro parcelas de Nigeria, y elevado en las dos parcelas de Brasil. Los valores extremos son: 0,7 toneladas/ha en la parcela de Ubiaja, de 5-6 años de edad, en la que esta cifra no representa más que el tercio del peso del follaje; y 22,7 toneladas/ha en la parcela de Sao Miguel, de 5 años de edad, en que esta cifra representa 20 veces el peso del follaje. Esta enorme variación sugiere efectos variables producidos por la quema en el momento de la tala para el establecimiento de la plantación y, quizás, igualmente, para después de la plantación. En la mayoría de los casos, el porcentaje del contenido de elementos nutritivos en la hojarasca es más bajo que en el follaje, con la excepción evidente del manganeso en todas las parcelas. La comparación entre los datos de los Cuadros 4.4 y 4.5 indica que las cantidades de elementos nutritivos (kg/ha) contenidos en la hojarasca son inferiores a la absorción media anual en las parcelas de Nigeria, pero varias veces superiores a dicha absorción en las parcelas de Brasil.

Aparte del contenido de manganeso, excepcionalmente elevado, de la hojarasca del bosque natural nigeriano, especialmente en Omo-Ajebandele, las cantidades de elementos nutritivos contenidas en la hojarasca de las plantaciones de Gmelina y en los bosques naturales adyacentes eran comparables, pero existía una tendencia a ser más elevado el contenido en Ca y Mg de la hojarasca en las plantaciones de Gmelina que en el bosque natural de las dos estaciones brasileñas, y el contenido en N y en K presentaba una tendencia a ser más elevado en el bosque natural de Ubiaja.

Cuadro 4.5

CANTIDAD DE ELEMENTOS NUTRITIVOS CONTENIDA EN LA HOJARASCA (kg/ha)  
(Cifras derivadas de los Cuadros A4 y A5 de las págs. 77 y 78)

	Edad	N	P	K	Ca	Mg	Total	Biomasa (ton/ha)
<u>Gmelina</u>								
Ubiaja	5,5	6,23	0,77	3,85	1,47	1,75	14,1	0,7
Ubiaja	12,5	6,72	0,96	2,72	5,2	4,8	20,4	0,8
Omo-Ajebandele	5,5	30	2,1	36	8	8	84	1,9
Omo-Ajebandele	12,5	44	1,9	31	8	7	92	1,7
Pacanari	6	137,7	41,9	16,2	117,5	29,7	343	13,5
Sao Miguel	6	204,3	22,7	25	161,2	77,2	490,4	22,7
<u>P. caribaea</u>								
Sao Miguel	6	226,5	12,9	12,9	174,7	84,1	511,1	64,7

#### 4.1.2 Pinus caribaea

##### a) Producción de biomasa

No fue posible tomar muestras de los pinos con más de cinco años de edad en las plantaciones de Brasil, en tanto que en Surinam las dificultades experimentadas con los instrumentos impidieron medir sobre el terreno los pesos de los pinos de diferentes edades, de los que se habían tomado muestras. Por tanto, sólo se dispone de información sobre la producción de biomasa en el Pinus caribaea de una parcela solamente, de la parcela de Sao Miguel, en Brasil. Los datos originales se encuentran en los Cuadros A2, A3, A4 (págs. 75 a 77 y un resumen en el Cuadro 4.1 de la pág. 25). El incremento medio anual (IMA) es casi 20 por ciento más alto que el registrado en la parcela de Gmelina de la misma edad y en el mismo tipo de suelo, pero esto podría explicarse por el hecho de que la masa en pie es mucho más elevada (más del 50 por ciento en el caso de los pinos). La distribución de la biomasa entre los componentes es análoga, con la excepción del follaje que constituye el 11 por ciento de la biomasa por encima del suelo en el caso de los pinos, pero solamente el 2 por ciento en el caso de Gmelina. Este porcentaje podría compararse con el 9 por ciento para los Pinus patula de 10 años de edad, en Tanzania (Lundgre, 1978). Los porcentajes más elevados observados en los pinos pueden atribuirse al hecho de que son siempreverdes, en tanto que Gmelina tiene un follaje caduco.

##### b) Porcentaje de elementos nutritivos

Los contenidos de elementos nutritivos (% del peso seco) del Pinus caribaea en la parcela de Sao Miguel, de Brasil, y en las tres parcelas de edades diferentes en Blakkawatra, en Surinam, se resumen en el Cuadro A6 de la pág. 80. En el cuadro que sigue a continuación (Cuadro 4.6) se indican las cifras medias para todas las parcelas.

Cuadro 4.6

PINUS CARIBAEA, MEDIA DE CUATRO PARCELAS  
(según el Cuadro A6)

	Contenido con elementos nutritivos (% del peso seco)					
	N	P	K	Ca	Mg	Total
Follaje	1,06	0,08	0,34	0,65	0,15	2,28
Madera de tronco	0,18	0,02	0,10	0,12	0,04	0,46
Relación (contenido follaje/ madera de tronco)	6:1	4:1	3,4:1	5,4:1	3,7:1	5:1
Madera de ramas	0,25	0,02	0,09	0,18	0,05	0,59
Corteza	0,19	0,01	0,07	0,10	0,04	0,41

En la mayoría de los componentes, el porcentaje de elementos nutritivos es menor en los pinos que en Gmelina. Solamente en el caso de la madera de tronco, el contenido es igual o mayor. En los demás componentes el contenido en los pinos es la mitad o menor que el contenido en Gmelina. Esto se aplica tanto a los valores medios para todas las parcelas como a la comparación de las dos especies en la misma estación en Sao Miguel. No obstante, en este segundo caso el predominio de la biomasa de madera de tronco tiene como resultado que el contenido medio de elementos nutritivos en el árbol entero es casi el mismo en el pino que en Gmelina (véase Cuadro 4.3 de la pág. 27).

Lo mismo que con Gmelina, el porcentaje más elevado de elementos nutritivos se encuentra en el follaje, pero Pinus difiere en que no existen diferencias importantes entre la madera de tronco, la corteza y la madera de ramas. La comparación entre las dos parcelas de la misma edad y en la misma estación, en Sao Miguel, demuestra que la relación de follaje respecto al contenido de elementos nutritivos de la madera de tronco (N, P, K, Ca, Mg) es de 13:1 en Gmelina, pero solamente de 6:1 en P. caribaea.

Con la excepción de la madera de tronco en una parcela, N tiene el porcentaje más elevado en todos los componentes del árbol en todas las parcelas. En la mayoría de los casos viene seguido de Ca, K, Mg y P por este orden; sin embargo, el orden varía un poco de parcela a parcela. En contraste con Gmelina, el contenido en Ca es, por regla general, más elevado que el contenido en K.

Las únicas tendencias uniformemente asociadas con el envejecimiento en las parcelas de Blakkawatra son el incremento del contenido de Ca y de Mg, y la disminución del contenido de K en el follaje, y el aumento de K y Ca en la madera de tronco.

c) Extracciones de elementos nutritivos debidas a la explotación forestal

Los contenidos de elementos nutritivos (kg/ha) en la parcela de Sao Miguel se presentan en el Cuadro A7 de la página 81, y en forma de diagramas en el figura A24 del Apéndice 4. La absorción media anual de elementos nutritivos se indica en el Cuadro 4.4 de la página 28. Los datos indican que, en tanto que los pinos han absorbido una cantidad ligeramente mayor de elementos nutritivos que los Gmelina, en una parcela de la misma edad sobre el mismo tipo de suelo, solamente el 50 por ciento de la cantidad absorbida estaba contenida en la madera de tronco, incluyendo la corteza, en comparación con el 75 por ciento en los Gmelina. Los pinos habían absorbido más Ca que K, lo contrario que había sucedido con Gmelina.

d) La hojarasca en las plantaciones de Pinus caribaea

En el Cuadro A4 (pág. 77) se indica el peso seco de la hojarasca en la parcela de Sao Miguel, y en el Cuadro A6 (pág. 80) se indica el porcentaje del contenido de elementos nutritivos y el contenido de elementos nutritivos en kg/ha en el Cuadro 4.5 (pág. 27). El peso seco de la hojarasca era de 64,7 toneladas/ha, es decir, casi el triple de la cifra correspondiente para la parcela de Gmelina de la misma edad, en Sao Miguel, cuya parcela tenía el peso más elevado de hojarasca de todas las parcelas de Gmelina. El peso de la hojarasca de los pinos era nueve veces el peso del follaje. Incluso teniendo en cuenta los efectos variables de los eventuales residuos de hojarasca, dejados por la recolección que precedió al establecimiento de las plantaciones, las cifras sugieren que la hojarasca del pino se descompone a un ritmo mucho más lento que la hojarasca de Gmelina.

Los porcentajes de N, P y K en la hojarasca del pino fueron todos inferiores en un tercio a los porcentajes del follaje, pero los porcentajes de Ca y Mg fueron superiores. Los contenidos en porcentaje de los cinco elementos nutritivos eran aproximadamente un tercio de los observados en la hojarasca de Gmelina, de forma que el contenido de elementos nutritivos en kg/ha de ambas parcelas era estrechamente comparable (Cuadro 4.5 de la pág. 29). Lo mismo que en la parcela de Gmelina, de Sao Miguel, el peso de los elementos nutritivos presentes en la hojarasca es varias veces superior que la absorción media anual de la especie (Cuadro 4.4 de la pág. 28).

4.2 Características físicas y químicas de los suelos

En los Cuadros A8 a A10 (págs. 83 y 90) se presentan los resultados de los análisis físicos del suelo. La naturaleza física de los suelos es muy variable. Los suelos de

Nigeria, de la zona de Ubiaja, son principalmente de arenoso-franco a arcillo-arenoso, la fracción arenosa va del 80 al 90 por ciento, en los 40 cm superficiales, y la fracción arcillosa apenas excede del 10 por ciento. El suelo derivado del complejo basal del eje Omo-Ajebandele (Nigeria) es mucho más pesado, conteniendo, por término medio, hasta 20 por ciento de arcilla en los 40 cm superficiales. Una variación análoga se presenta en las zonas de Brasil. La textura, en la zona de Sao Miguel, es principalmente arenosa, en tanto que en la zona de Pacanari contiene mucho más limo y arcilla y es mucho más pesado.

Los resultados de los análisis químicos de los suelos se presentan en los Cuadros A11 y A12 (págs. 91 a 94). Si se considera que la extracción al acetato de amonio constituye una buena medida de la fertilidad del suelo, podrían clasificarse en la siguiente forma los suelos plantados con Gmelina en las zonas visitadas, por orden decreciente de fertilidad: Luvisoles férricos >>Nitosoles eútricos >>Nitosoles dístricos >>Arenosoles ferrálicos (álbicos). El contenido en P asimilable era, por regla general, débil en el bosque natural en todas las estaciones estudiadas, inferior a 10  $\mu\text{g/g}$  en todos los casos. Los contenidos totales de nitrógeno eran, en la mayoría de los casos, de medios a elevados (0,12 a 0,38 por ciento), en la capa superficial de los suelos del bosque natural.

#### 4.3 Variaciones en las características de los perfiles de los suelos

Las observaciones que se indican a continuación se hicieron sobre las características megascópicas de los perfiles observados en fosas pedológicas excavadas en el bosque natural y en las plantaciones.

##### 4.3.1 Color

En los suelos de textura media a ligeramente gruesa de las zonas de Omo-Ajebandele (Nigeria) y Pacanari (Brasil), el color de la capa superficial era más claro en las plantaciones de Gmelina que en el bosque natural (ver Cuadros A2 y A3 de las págs. 75 y 76). Ocurría lo contrario en los suelos de textura ligera/media de las zonas de Ubiaja (Nigeria) y Sao Miguel (Brasil), en que la capa superficial era netamente más oscura (Cuadros A1 y A4, págs. 72 y 77). Se observaron diferencias de color entre todos los perfiles. Los 20 cm superficiales de perfil con plantaciones de pinos en la zona de Sao Miguel tenían una tonalidad ("value") y una intensidad de coloración ("chroma"), diferente de las observadas en las plantaciones de Gmelina arborea y en el bosque natural, siendo más pálidas que la una y la otra.

##### 4.3.2 Tendencias texturales

En los Cuadros A8 y A9 (págs. 83 a 86) y en las figuras A5 y A6 (págs. 100 y 101) se presentan los perfiles de la fracción de suelo (50-2 000  $\mu$ ). En cada perfil la mayor parte de la variación asociada con la profundidad se sitúa a los 25 cm superficiales. La mayor diferencia entre los perfiles de las plantaciones y del bosque natural era la del Pinus caribaea, de Sao Miguel (Brasil). La amplia separación entre los gráficos que representan el perfil relativo al Pinus caribaea (figura A6 de la pág. 101) y los perfiles del bosque natural y de Gmelina arborea, confirma la considerable influencia que las coberturas de pinos tienen sobre las propiedades físicas de estos suelos marginales (aumento del porcentaje de arena, disminución del porcentaje de limo y de arcilla). No obstante, las modificaciones efectivas que se presentan es probable que sean más pronunciadas en los suelos de textura gruesa que en los suelos de textura más fina, especialmente con profundidad.

#### 4.3.3 pH del suelo

En las plantaciones de Gmelina de Nigeria, las clases de edad más jóvenes determinan un aumento notable del pH del suelo en las capas superficiales, en comparación con el bosque natural (Cuadro A11 pág. 91). Este efecto se extiende sobre los 20 cm superficiales en los suelos de textura media a gruesa en Omo-Ajebandele, y sobre los 60 cm superficiales sobre los suelos más ligeros de Ubiaja. En las plantaciones más viejas, de más de 10 años de edad, la tendencia es la de volver a la situación original, situándose el pH a mitad de camino, aproximadamente, entre el del bosque natural y el de las clases de edad más jóvenes. La figura A7 (pág.102) presenta una ilustración de estos seis perfiles.

En Surinam existe poca evidencia de un cambio importante del pH en las plantaciones de pinos; el pH inicial del bosque natural de 4,4 es relativamente más bajo (Cuadro A12, pág. 94).

#### 4.3.4 Distribución del fósforo asimilable en el perfil

En Nigeria la distribución del fósforo en el perfil del suelo varía en forma más acentuada en las capas superficiales, entre 10 y 50 cm. Los suelos de textura fina de Ubiaja contienen aparentemente un nivel más elevado de P en profundidad ( $4 \mu\text{g/g}$ ) que en las plantaciones más viejas de la misma zona; estas últimas tienen un nivel más elevado que el bosque natural. En los suelos de textura media a gruesa de Omo-Ajebandele, la situación se invierte, y las plantaciones más viejas presentaban niveles más altos de P en profundidad, que el bosque natural o las plantaciones más jóvenes. Por regla general, los niveles de P en los suelos ligeros son mucho más elevados que los de los suelos residuales de textura más gruesa (véase Cuadro A11 de la pág. 91 y figura A8 de la pág. 103).

#### 4.3.5 Total de cationes extraíbles por $\text{NH}_4\text{OAC}$

En Nigeria los niveles de cationes extraíbles por  $\text{NH}_4\text{OAC}$  en los horizontes superiores del suelo eran, por regla general, más elevados en las plantaciones que en los perfiles del bosque natural, hasta una profundidad de 35 cm en los suelos de textura fina, pero solamente de 15 cm en los suelos de textura media a gruesa. Por encima de estas profundidades, en ambos casos, las plantaciones más jóvenes presentan el contenido más elevado de cationes pero, más abajo, las diferencias entre el bosque natural y las plantaciones son pequeñas (Cuadro A11, pág. 91, figura A9, pág. 104).

#### 4.3.6 Carbono orgánico y porcentaje de nitrógeno

En Nigeria, las diferencias más marcadas por lo que respecta al contenido de carbono orgánico y el porcentaje de N se observaron en las capas superiores del suelo, hasta una profundidad de 50 cm en los suelos de textura media a ligeramente gruesa y hasta una profundidad de 20 cm en los suelos más ligeros (Cuadro A11, pág. 91 y figuras A10 y A11, págs. 105 y 116).

#### 4.4 Evolución de la fertilidad del suelo en las plantaciones nigerianas de Gmelina

En los Cuadros A8 y A11 (págs. 83 y 91) se presentan los resultados obtenidos con muestras compuestas de las plantaciones de Gmelina de una edad de 1 a 13 años, establecidas sobre suelos residuales de textura media, en Omo-Ajebandele, Nigeria. Las tendencias de la fertilidad se representan también gráficamente en las figuras A12 y A16.



#### 4.4.1 pH del suelo

El pH del suelo aumentó durante los primeros cinco años de reforestación, aunque esta evolución no fue uniforme y la mayor parte del incremento tuvo lugar durante el primer año. El pH comenzó a disminuir de nuevo a partir del sexto año, volviendo casi a la situación del bosque natural al 13º año del crecimiento de Gmelina, a una profundidad de 20-40 cm. No obstante, en la capa superficial del suelo de la plantación el pH se estabilizó aproximadamente a 1,5 unidades en más que en la capa superficial del bosque natural de la misma edad (figura A12, pág. 107).

#### 4.4.2 Total de cationes extraíbles por NH<sub>4</sub>OAC

Se observó un enorme aumento durante el primer año hasta una profundidad de 40 cm, y durante el quinto año, a 0-10 cm de profundidad, produciéndose una estabilización durante el sexto año, pero, por regla general, conservando un valor superior al observado en el bosque natural a las correspondientes profundidades (figura A13, pág. 108).

#### 4.4.3 Fósforo asimilable

La tendencia es análoga a la observada respecto a los cationes extraíbles por NH<sub>4</sub>OAC, con la excepción de que al llegar al 13º año los niveles no solamente habían regresado a la situación del bosque natural, sino que los valores mostraron incluso una tendencia a ser más bajos a las profundidades correspondientes del suelo (A14, pág. 109).

#### 4.4.4 Carbono orgánico y porcentaje de nitrógeno

En Omo-Ajebandele se presentó una tendencia análoga respecto a estas dos propiedades del suelo. Después de una fuerte reducción inicial en los tres niveles del suelo observados, se produjo una recuperación parcial entre el tercer y sexto años, seguida de otra disminución en las capas más superficiales del suelo. En una plantación de 13 años de edad, tanto el porcentaje de carbono orgánico como el porcentaje de nitrógeno total, eran apreciablemente menores a unas profundidades de 0-10 cm y 10-20 cm, pero ligeramente superiores a una profundidad de 20-40 cm, en comparación con las muestras correspondientes tomadas en el bosque natural (figuras A15, A16 de las págs. 110 y 111).

Aunque en Ubiaja solamente se representan dos clases de edad (Cuadro A11, pág. 91), los datos sugieren que sobre estos suelos más ligeros el contenido de carbono orgánico en los 10 cm superficiales, después de una disminución inicial, aumenta de nuevo hasta aproximadamente el mismo nivel que en el bosque natural a la edad de 15 años.

#### 4.5 Tendencias físicas en los suelos de Brasil

Aunque se hicieron pocas observaciones sobre las demás características físicas, los datos que se presentan en el Cuadro A10 (pág. 90) relativos a las muestras compuestas de suelos brasileños indican una densidad aparente y un contenido de humedad más elevados y menor porosidad y menor contenido de aire en los suelos de textura ligeramente gruesa, de la zona de Pacanari, con plantaciones de Gmelina arborea que en los bosques naturales. Lo contrario parece ser que sea el caso en los suelos de textura fina en la zona de Sao Miguel plantados de Gmelina arborea. En la misma zona, con pinos, la densidad aparente es más elevada y menor la porosidad que en el bosque natural en el horizonte A, pero la situación se invierte en el horizonte B. El contenido de humedad es menor y el porcentaje de aire más elevado en ambos horizontes.

#### 4.6 Tendencias químicas observadas en los suelos plantados de pinos, en Surinam

En Surinam, donde el pH inicial del bosque natural es relativamente bajo (Cuadro A12, pág. 94), existe poca evidencia de una tendencia importante del pH y del contenido en la mayor parte de los elementos nutritivos de las plantaciones de pinos, ni a lo largo del perfil ni con la evolución del tiempo. No obstante, el contenido de carbono orgánico, de nitrógeno total y, en menor medida, de fósforo de las capas superficiales de la plantación de 1972, es mucho más bajo que el observado en los bosques naturales; pero los niveles parece que aumentan a medida que envejece la plantación, incrementándose la acumulación de la hojarasca y probablemente de la mineralización.

#### 4.7 Representación diagramática de los presupuestos de los elementos nutritivos

En las figuras A18-A24 del Apéndice 4 se presentan en forma de diagramas, los contenidos en elementos nutritivos de los árboles, de la hojarasca y del suelo mineral en las dos estaciones de Nigeria y en las dos de Brasil.

## Capítulo 5

### DISCUSION

Las repercusiones ejercidas sobre el suelo por los monocultivos de especies de crecimiento rápido son mucho más complejas que la simple adición y sustracción de los elementos nutritivos por los árboles. Sin embargo, una parte importante de los efectos totales de tales cultivos se debe a la extracción del suelo de los elementos nutritivos esenciales extraídos por la biomasa. La cantidad de elementos nutritivos inmovilizados en los árboles debe considerarse en función de las reservas contenidas en el suelo, y las modificaciones efectuadas en el suelo por el crecimiento de dichos árboles deben examinarse desde el punto de vista de unos rendimientos sostenidos en las rotaciones futuras.

Merece la pena observar que el presente estudio no proporciona ninguna evidencia de que los monocultivos per se determinen un agotamiento más rápido de las reservas de elementos nutritivos del suelo que el que producirían las mezclas de especies que tengan la misma tasa de producción de biomasa, la misma duración de la rotación y la misma proporción de productos forestales extraídos. Es evidente que el agotamiento rápido de los elementos nutritivos está asociado con un crecimiento rápido, unas rotaciones de corta duración y a una explotación por especies completas (con mucha más razón de árboles enteros), pero es necesario realizar estudios complementarios para demostrar si, - siendo todos los demás factores iguales - una especie monoespecífica moviliza más rápidamente los elementos nutritivos que una especie mezclada.

#### 5.1 Cantidades de elementos nutritivos contenidas en los árbo

Los valores relativos a las cantidades de elementos nutritivos (kg/ha) inmovilizados en las especies de Gmelina arborea y de Pinus caribaea, que se presentan en el Cuadro A7 (pág. 81), muestran claramente la amplitud de sus variaciones con el tipo de suelo y la edad de la especie. Las diferencias observadas dentro de una misma clase de edad, tanto en Nigeria como en Brasil, reflejan las diferencias entre los suelos, estando asociadas las cantidades de elementos nutritivos inmovilizados más importantes a los mejores suelos y a un crecimiento más rápido.

La cantidad de elementos nutritivos inmovilizados en los árboles de una edad de 13 a 15 años es de solamente un 6 por ciento, aproximadamente, (en la zona de Omo-Ajebandele) y del 9 por ciento (en la zona de Ubiaja) mayor que en los árboles de una edad de 5 a 6 años, en tanto que el correspondiente aumento de biomasa es del 25 por ciento (Omo-Ajebandele) y del 66 por ciento (Ubiaja) respectivamente. No obstante, las variaciones en la cantidad de elementos individuales en función de la edad (potasio en Gmelina arborea y calcio en Pinus caribaea) parece que sean mucho mayores. El aumento de los niveles de Ca y la disminución de K en Gmelina, en función de la edad, parece ser que están relacionados con la modificación de la relación copa-tronco, como ha sugerido Madgwick et al. (1977). Una explotación por árboles enteros o por troncos enteros significaría que para el mismo período total varias rotaciones de 5 a 6 años extraerían mayor cantidad de elementos nutritivos que una sola explotación efectuada a una edad más madura. El potasio, que es el elemento inmovilizado en mayor cantidad por los árboles más jóvenes en Nigeria, y el mayor, excepto N, en Brasil, (Cuadro 4.4, pág. 28), podrían llegar a ser críticos para el crecimiento de Gmelina en situaciones donde tienda a ser escaso.

En la mayor parte de las zonas estudiadas no se dispuso de datos relativos a la absorción de elementos nutritivos por el Pinus caribaea, pero los resultados de los análisis de las muestras de los árboles (Cuadro A6, pág. 80) indicaron que el contenido de calcio en la madera de los troncos aumentaba en función de la edad. Esto significa que

las pérdidas de Ca para el suelo serán tanto más importantes a la edad de 13-15 años que a las edades de 8-9 o 5-6 años. Sin embargo, la comparación de los Cuadros A6, pág. 80 y A12, pág. 94 sugiere que la cantidad de elementos nutritivos inmovilizados en los árboles podría igualmente relacionarse positivamente con las cantidades asimilables y, probablemente, también con las reservas contenidas en el suelo.

Por término medio, aproximadamente el 80 por ciento de los elementos nutritivos contenidos en los árboles se encuentran en la madera de tronco y en la corteza, las que, por regla general, son extraídas durante la explotación. Nwoboshi (1972) y Chijioke (1978) han señalado que se produce una inmovilización preferente de los elementos nutritivos básicos por las Verbenaceas, y por otras frondosas por Rennie (1957) y Golley *et al.* (1975). Los presentes resultados confirman que, si bien esta observación es, por regla general, verdadera, el elemento nutritivo particular inmovilizado en mayor medida depende de la edad a la cual se efectúa el aprovechamiento forestal. Los datos que se presentan en el Cuadro 4.4 en la pág. 28 no demuestran que una mayor cantidad de elementos nutritivos queden inmovilizados en las frondosas respecto a las coníferas de la misma edad, según ha señalado Ralston (en prensa) y citadas por Wells y Jorgensen (1979), por lo menos en Sao Miguel, en Brasil, donde ambos tipos de árboles habían sido plantados en el mismo terreno.

## 5.2 Extracción de elementos nutritivos y potencial sostenido del suelo

Los análisis de vegetales y de suelos han suministrado estimaciones de las cantidades de elementos nutritivos presentes en los árboles de diferentes edades y en los suelos que los sostienen. Aunque en el momento de redactar este documento no se disponía de estimaciones de las reservas de elementos nutritivos del suelo (por análisis químico), el conocimiento de los datos sobre el material de origen del suelo siempre ha constituido una buena indicación de dichas estimaciones. Es evidente que las cortas de aprovechamiento, que implican la extracción en el sistema de grandes cantidades de elementos nutritivos, agotan el suelo (Wells y Jorgensen, 1979), pero lo que algunas veces se ha pasado por alto es que tales extracciones, permanentes y periódicas, pueden reducir la capacidad del suelo para suministrar elementos nutritivos y, por tanto, hacer disminuir su depósito de elementos nutritivos asimilables a un nivel inferior al necesario para garantizar una nutrición adecuada de los árboles. Las cantidades de elementos nutritivos asimilables presentes en el suelo dependen de una combinación de factores diversos, algunos de los cuales no han sido todavía bien comprendidos. Igualmente, no se tienen todavía conocimientos adecuados sobre la relativa importancia de estas disponibilidades y de las necesidades fisiológicas de la especie cultivada para determinar las cantidades absorbidas.

Por tanto, el potencial sostenido del suelo en un sistema de plantación forestal puede considerarse como la aptitud de un suelo determinado para poder mantener una producción de elementos nutritivos a un nivel adecuado para asegurar la nutrición de una especie determinada. Se sabe que la mayor parte de los elementos nutritivos contenidos en el suelo existen en un estado de flujo, y se presentan en formas asimilables, lentamente asimilables e inasimilables. La capacidad de un sistema radicular de un árbol para beneficiarse de estas diversas formas depende, en gran medida, de la cantidad de elementos nutritivos presentes, en una forma fácilmente asimilable, en la zona de las raíces y, respecto a algunas especies de árboles, de una adaptación especial de dichas raíces (p.ej. las micorrizas) que les permiten absorber los recursos "inasimilables". Esto podría significar que la idea del potencial sostenido del suelo podría considerarse como relativa. Si el contenido de elementos nutritivos de una masa en el momento de su explotación se expresa en porcentaje del contenido en elementos nutritivos de la hojarasca, es evidente que la mineralización de sólo la hojarasca, especialmente en las plantaciones de Gmelina, no será suficiente para sostener el potencial del suelo en el transcurso de la rotación usual de 5 a 6 años (Cuadro 5.2 de la pág. 40). Incluso aunque se añadan las cantidades presentes (en forma asimilable) en el mineral del suelo a las contenidas en la hojarasca,

en lugar de considerar únicamente estas últimas, se verá que las cantidades de P y de K inmovilizadas por los árboles de Gmelina continúan siendo todavía superiores, en la mayor parte de los casos, a las cantidades disponibles en el suelo, y esto podría afectar a la ordenación de los suelos de plantación.

Por tanto, habrá que estimar las relaciones existentes entre las cantidades totales de elementos nutritivos presentes en los árboles, que son extraídas durante el aprovechamiento forestal, las reservas contenidas en el suelo ("capital" nutricional) y las cantidades "asimilables". La primera nos dará una idea aproximada del número de rotaciones que un suelo determinado podría teóricamente sostener bajo esta forma de ordenación, y la segunda nos daría una indicación de las posibilidades inmediatas del suelo, respecto a su potencial inmediato de suministro de elementos nutritivos, lo que es más importante a breve término. En el momento de la redacción del presente documento, no se disponía de los datos relativos a las cantidades totales de elementos nutritivos presentes en el suelo, pero, en ausencia de dichos datos, la información sustitutiva, obtenida de la bibliografía (O.D.A. Land Resource Report No. 23, Murdoch, 1976), proporciona valores relativos al contenido total de los elementos nutritivos de los suelos de la zona Omo-Ajebandele. Los Cuadros 5.1 y 5.2 de las páginas siguientes indican que los suelos del complejo basal de esta parte de Nigeria no corren ningún riesgo inmediato de agotamiento de sus reservas de elementos nutritivos, porque las cantidades extraídas en cada rotación son bajas en relación con las reservas totales del suelo. Incluso para K, que es el elemento inmovilizado en mayor medida, esta cantidad no excede del 3 por ciento. Sin embargo, puede considerarse que los suelos pobres en potasio total tienen una tendencia a limitar el crecimiento de Gmelina arborea en las rotaciones posteriores. La situación en la zona de Ubiaja, en Nigeria, donde se sabe que las reservas de elementos nutritivos de los suelos son mucho menores que en la zona de Omo-Ajebandele (Kowal y Tinker, 1959), la situación es ciertamente más precaria; eso mismo vale para los otros suelos sedimentarios del Amazonas.

En efecto, si en las rotaciones sucesivas se produce una disminución en el crecimiento de los árboles en los suelos de complejo basal del tipo estudiado, esto es más probable que se deba al resultado de los defectos físicos del suelo o a la imposibilidad del cambio de la forma 'inasimilable' a la forma 'asimilable' de los elementos nutritivos, al ritmo de las exigencias de los árboles; no es ciertamente el resultado de una ausencia de los elementos nutritivos esenciales. La carencia de elementos nutritivos, que puede dar lugar a un crecimiento reducido y a un retraso en el cierre de la cubierta arbórea en el curso de rotaciones sucesivas, podría igualmente ser el resultado de una lenta mineralización de la materia orgánica.

### 5.3 Cambios físico-químicos de los suelos y fertilidad

Los resultados de las investigaciones sobre la evolución de los suelos en el transcurso del tiempo, en Nigeria, demuestran un aumento general del pH y del total de elementos nutritivos básicos extraíbles, en tanto que las reducciones observadas en fósforo asimilable, nitrógeno total y materia orgánica parece ser que estén interrelacionadas. Las piconas marcadas, que aparecen en algunas de estas propiedades en el curso de los dos primeros años (figura A12 y A16), probablemente están relacionadas con los efectos de la quema sobre el suelo. La segunda picon, observada en los árboles de 4 a 6 años, es más probablemente el resultado de la acumulación de hojarasca y del subsiguiente incremento del contenido de materia orgánica, así como de la liberación de nitrógeno y fósforo, y de los elementos básicos. La situación en el curso de los años 13º a 15º, representa un equilibrio, en que los efectos de la quema sobre el suelo se han atenuado y los cambios del suelo son el resultado directo del crecimiento de la vegetación. Lundgren (1978) ha informado que, en condiciones tropicales, los efectos de la quema desaparecen después de unos siete años, aproximadamente. Los niveles más altos de bases intercambiables en los 40 cm superficiales indican, probablemente, que Gmelina arborea tiene una mayor eficiencia de reciclaje

Cuadro 5.1

CONTENIDO DE ELEMENTOS NUTRITIVOS EN LA HOJARASCA Y EN EL SUELO EN LA ZONA DE OMO-AJEBANDELE

Edad de la plantación (años)	% del peso seco					kg/ha				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Hojarasca 5-6 12-13	1,55	0,11	1,88	0,40	0,43	30	2,1	36	8	8
	2,55	0,11	1,79	0,45	0,40	44	1,9	31	8	7
Elementos nutritivos extraíbles por NH <sub>4</sub> OAC										
	N%	P (µg/g)	K (µg/g)	Ca (µg/g)	Mg (µg/g)	(densidad aparente del suelo admitida a 1,45)				
Suelo mineral 5-6 12-13	0,238	3,4	31	632	74	-	20	180	3666	429
	0,209	1,5	34	499	66	-	9	197	2894	383
(media ponderada, % de N y µg/g de los otros ele- mentos a una profundidad de 0-40 cm)										
Contenido total de elementos nutritivos										
(0-50 cm)	-	683	6250	> 10000	2125	13200	3879	35500	>60000	12070
(ODA Land Resource Report No. 23, Murdoch et al., 1976)										

Cuadro 5.2

EXTRACCION DE ELEMENTOS NUTRITIVOS EN PORCENTAJE DE LAS RESERVAS DE LA HOJARASCA Y DEL SUELO - P, K, Ca, Mg - Omo-Ajebandele

		% DE LA HOJARASCA Omo-Ajebandele	% DEL SUELO MINERAL + HOJARASCA Omo-Ajebandele (elementos nutritivos extrafibles)	% DEL CONTENIDO TOTAL DEL SUELO Omo-Ajebandele
Arboles de 12,5 años Madera de tronco y corteza	P	990	174	0,5
	K	2750	365	2,4
	Ca	8890	24	1,2
	Mg	390	7	0,2
Arbol entero	P	1640	284	0,8
	K	3270	435	2,8
	Ca	9680	26	1,3
	Mg	630	11	0,4
Arboles de 5,5 años Madera de tronco y corteza	P	1900	179	1,0
	K	2530	418	2,6
	Ca	6520	13	0,8
	Mg	450	8	0,3
Arbol entero	P	2350	223	1,3
	K	2880	475	2,9
	Ca	7260	15	0,9
	Mg	620	12	0,4

que la del bosque natural, lo que tiene como resultado que los valores de pH observados sean más elevados en las parcelas reforestadas. En la mayoría de los casos, los cambios de las características de los perfiles del suelo son especialmente evidentes en los 50 cm superficiales del perfil, que constituye la zona de mayor actividad de las raíces. Las variaciones que afectan a los elementos nutritivos lexivables pueden observarse en mayores profundidades en los suelos más arenosos que en los suelos más arcillosos, pero ocurre lo contrario cuando se trata de la materia orgánica y el nitrógeno. Los cambios en estas últimas propiedades, así como en la coloración más clara del suelo, que aparece solamente en los suelos más pesados, parece ser que sean el resultado de una mayor actividad de los organismos del suelo (especialmente de las lombrices), que incorporan materia orgánica en la capa superficial del suelo a mayores profundidades cuando se alimentan y horadan la tierra.

Las características físicas del suelo necesitan mucho más tiempo para que presenten modificaciones que puedan afectar en forma importante al crecimiento, pero, cuando se producen, pueden ser muy importantes para las rotaciones futuras, como puede comprobarse, por ejemplo, con las plantaciones brasileñas de Gmelina y de pinos (Cuadro A10). El aumento de la densidad aparente y el contenido en humedad, así como la reducción del contenido de aire, en los suelos de textura media a textura ligeramente gruesa de Gmelina, pueden (si este fenómeno continúa en las rotaciones sucesivas) alterar la textura del suelo en tal medida que modifican efectivamente los procesos de movilización de los elementos nutritivos del suelo y de absorción por las raíces. Puede presentarse una situación en la que los elementos nutritivos sean abundantes pero inasimilables por los árboles. Los suelos de textura más ligera, plantados de Gmelina en esta zona, tienen una menor densidad aparente y una mayor porosidad que las del bosque natural. Evidentemente, el empobrecimiento del suelo en estos casos será el resultado de las pérdidas de elementos nutritivos esenciales, debido a la lixiviación a profundidades superiores a las que podrían ser utilizadas por las plantas. Considerando el hecho de que tales suelos son marginales, desde un punto de vista nutricional, podrían considerarse que constituyen un mayor riesgo y que necesitaban un mayor cuidado en la ordenación. El aumento de la densidad aparente en las plantaciones de pinos, en estos suelos de textura ligera, puede afectar al crecimiento de las futuras plantaciones, en una forma más acentuada en la fase del establecimiento que en las fases posteriores, ya que los pinos, por regla general, se sabe que son capaces de resistir condiciones difíciles durante su crecimiento. Se observaron indicaciones de decoloración de la capa superficial del suelo, de perfiles de los suelos plantados de pinos. Este fenómeno se debía, probablemente, a la lixiviación de los polifenoles provenientes de la hojarasca de pinos a lo largo del perfil.

#### 5.4 Evaluación del retroceso en el crecimiento sobre los suelos de plantaciones

Varios autores se han esforzado para establecer unas directrices de orientación por lo que respecta a la capacidad productiva de los suelos, especialmente en las zonas en las que se ha proyectado establecer monocultivos (p.ej. Chijioke, 1978; Golley et al.; Rennie, 1957; Weetman y Webber, 1972). Stark (1978) ha sugerido una fórmula para evaluar la duración de la vida biológica de un suelo, de la cual se ha derivado la siguiente fórmula ligeramente modificada:

$$A = \frac{T}{B + L - P + E + O + H + S - D - W} \times R$$

donde A = vida biológica (número estimado de años restantes para el crecimiento de los árboles);

T = contenido total del suelo en elementos nutritivos hasta el límite de la zona de penetración de las raíces (60 cm);



- B = pérdida de elementos nutritivos por debajo de la zona de penetración de las raíces debida a la quema, por rotación (en eq./m/m<sup>2</sup>);
- L = pérdida por lixiviación de elementos nutritivos por debajo de la zona de penetración de las raíces, por rotación (en eq./m/m<sup>2</sup>);
- P = aportación debida a las precipitaciones (más polvo), por rotación (en eq./m/m<sup>2</sup>);
- E = pérdida debida a la erosión, por rotación (eq./m/m<sup>2</sup>);
- O = pérdida debida a escurrimientos superficiales, por rotación (en eq./m/m<sup>2</sup>);
- H = pérdidas debidas al aprovechamiento forestal, por rotación (en eq./m/m<sup>2</sup>);
- S = pérdida de elementos nutritivos en el humo y en el polvo, por rotación (eq./m/m<sup>2</sup>);
- D = bombeo de elementos nutritivos en profundidad por las raíces profundas (más de 60 cm);
- W = tasa de meteorización por rotación a la profundidad de la zona de penetración de las raíces (60 cm) (en eq./m/m<sup>2</sup>);
- R = duración de la rotación en años.

Boyle (1973) estableció igualmente un presupuesto de elementos nutritivos en el que calculó las aportaciones y las extracciones de los elementos nutritivos; si el índice es superior a la unidad, esto indica que las aportaciones durante la rotación son más que adecuadas para compensar las extracciones en el momento del aprovechamiento forestal. Las aportaciones, en este contexto, se refieren a las reservas contenidas en los 15 cm superficiales del suelo, más las aportaciones esperadas como consecuencia de las precipitaciones, mineralización y meteorización a lo largo de la rotación prevista. Las extracciones se refieren a la pérdida de elementos nutritivos como resultado de la explotación por árboles enteros. Los dos enfoques son análogos, ya que incluyen los aspectos principales del ciclo de los elementos nutritivos, tal como nosotros lo conocemos. Solamente difieren en detalles, que dependen realmente de la especie y de las condiciones objeto de estudio.

Empleando un método análogo es posible preparar un presupuesto de elementos nutritivos para la zona de Omo-Ajebandele, basado en las cifras de los Cuadros A7 y 5.1. Para K, que es el elemento extraído en mayor cantidad, el presupuesto (kg/ha), al principio de la segunda rotación de 5-6 años, se presentaría en la forma siguiente:

1. Elementos nutritivos disponibles en el suelo (0-40 cm)	180
2. Elementos nutritivos presentes en la hojarasca	36
3. Elementos nutritivos en el follaje y en la madera de ramas, devueltos al suelo al final de la primera rotación	124
4. Total 1-3	340
5. Absorción esperada en la segunda rotación (que se supone es la misma que en la primera)	1 039
6. Cantidad neta repuesta o extraída, obtenida restando las pérdidas anuales, debidas a la erosión y lixiviación, de las aportaciones anuales provenientes de las precipitaciones, meteorización y "bombeo profundo" por las raíces por debajo de 40 cm de profundidad, que se suponen iguales a	0
7. Déficit previsto (5-4)	699
8. Reserva total de elementos nutritivos (0-50 cm)	35 500

El cálculo, según se indica anteriormente, supone que las aportaciones provenientes de la meteorización, "bombeo profundo" y las precipitaciones, equilibran las extracciones debidas a las pérdidas por lixiviación y erosión, por la simple razón de que no se dispone de estos datos. Naturalmente, esto no sucede necesariamente siempre. En tanto que K puede demostrar que es limitador en estas situaciones, el cálculo de las aportaciones del suelo deberá igualmente tener en cuenta los niveles de otros elementos nutritivos. Un exceso en uno de ellos afectará a las posibilidades de movilización de los otros.

Puede observarse que si se considera que las reservas de elementos nutritivos de suelos se limitan a la fracción fácilmente asimilable, puede descontarse un retroceso en el crecimiento al principio de la segunda rotación, a menos que se añada un fertilizante K. Por otro lado, las reservas totales de K son muy grandes. Según se ha indicado anteriormente, la tasa de cambio de los elementos nutritivos "inasimilables" a "asimilables", en comparación con la tasa de absorción por las especies forestales, es probable que constituya el factor crítico para determinar la capacidad del terreno para soportar muchas rotaciones, pero sobre este punto todavía no se tiene mucha información.

## Capítulo 6

### RESUMEN Y CONCLUSIONES

Estas investigaciones se han llevado a cabo en las zonas de los trópicos húmedos de tierras bajas, en las que los monocultivos extensivos se encuentran, o bien en su primera rotación o están entrando en la segunda (Brasil). Las observaciones sobre el terreno y los análisis químicos han demostrado que las cantidades de elementos nutritivos inmovilizados en los árboles están en relación con su rendimiento y dependen del potencial de la estación. En esta fase, es difícil predecir los eventuales efectos de un monocultivo sobre el rendimiento y el potencial del suelo. Sin embargo, mediciones de las propiedades físicas y químicas del suelo, efectuadas en diferentes momentos y a diferentes profundidades del suelo durante la primera rotación, comparadas con las mismas propiedades del bosque natural, permiten establecer las siguientes conclusiones.

#### 6.1 Conclusiones

1. Los elementos nutritivos básicos y el nitrógeno se inmovilizan en su mayor parte en las partes aéreas de los árboles, especialmente el potasio en la Gmelina arborea de 5-6 años de edad y el calcio en el Pinus caribaea. El 70-80 por ciento de los elementos nutritivos así inmovilizados se pierden en el aprovechamiento forestal de la madera de tronco más la corteza.

2. La masa de Gmelina, de rotación de corta duración, exige por lo menos dos veces más elementos nutritivos del suelo que otras masas más viejas. En Nigeria una masa de 5-6 años absorbe 132 por ciento más de K y 50 por ciento más de Ca que una masa de 13-15 años de edad.

3. Los monocultivos de Gmelina arborea y Pinus caribaea determinan modificaciones opuestas en los diferentes tipos de suelo - textura fina y media a textura gruesa - y, por tanto, exigen diferentes prácticas de ordenación de suelos.

4. Los cultivos de Gmelina sobre los suelos de textura fina de las zonas de Ubiaja y Sao Miguel pueden correr un mayor peligro de reducir sus rendimientos en rotaciones sucesivas que los de las zonas de Omo-Ajebandele y Pacanari. Esto podría ser resultado de una excesiva lixiviación de sus escasos elementos nutritivos, debido al aumento de la porosidad y a la disminución de la densidad aparente provocadas por el crecimiento de Gmelina.

5. Una disminución del rendimiento, cuando se produzca en los suelos de textura media a gruesa (especialmente en el complejo basal), muy probablemente sería el resultado de unas condiciones físicas pobres del suelo que conducirían a una movilización inadecuada de los elementos nutritivos.

6. El total de elementos básicos intercambiable en la capa superficial del suelo de las plantaciones es netamente más elevado que en el bosque original, subrayando la eficacia del reciclaje de los elementos nutritivos de Gmelina arborea, pero las concentraciones de K continúan disminuyendo.

7. Podría evitarse hasta el 25 por ciento de la pérdida de elementos nutritivos debida a la explotación de árboles enteros si se dejasen sobre el terreno los residuos de la corta. Las pérdidas podrían reducirse en otro 5-10 por ciento si se devolviese, igualmente, la corteza al terreno.

8. En las estaciones brasileñas, el efecto de un horizonte decolorado, inducido probablemente por la lixiviación de los compuestos polifenólicos provenientes de la hojarasca, no puede evaluarse en forma inmediata, pero podría ser importante en el curso de las futuras rotaciones.

9. No existe prueba alguna del resultado de estas investigaciones que haga sugerir que los cultivos de pinos sufrirán daños en las rotaciones posteriores como resultado de la pérdida de elementos nutritivos del suelo por el hecho del aprovechamiento forestal. Sin embargo, la reducción del contenido de humedad del terreno bajo los pinos, se convertirá probablemente en el principal factor limitativo del crecimiento en las rotaciones posteriores.

10. En todas las situaciones estudiadas - bosques naturales o plantaciones - el nitrógeno total se presentó en niveles más que óptimos a pesar de las importantes cantidades inmovilizadas por Gmelina y por los pinos. Por tanto, la explotación no constituye ninguna amenaza para el futuro equilibrio del nitrógeno del suelo.

## 6.2 Recomendaciones

Las conclusiones alcanzadas en el presente estudio permiten formular las siguientes recomendaciones, que se someten a la atención de los administradores forestales que se ocupan de la producción de coníferas y frondosas de crecimiento rápido, especialmente Gmelina arborea y Pinus caribaea en los trópicos húmedos de tierras bajas.

1. En la medida de lo posible, todos los residuos de las operaciones de aprovechamiento y limpieza forestal deben dejarse sobre el terreno. Además de que sirven como abrigo vegetal para conservar la humedad y reducir la erosión del terreno, los preciosos elementos nutritivos que restituyen al suelo, en el curso de la mineralización, vienen a reponer una parte de los recursos que se perdieron durante la explotación. Debe desaconsejarse la práctica de las operaciones de quema al principio de la segunda y sucesivas rotaciones.

2. Deberán evitarse en la mayor medida posible los riesgos de incendio en las plantaciones de pinos durante el crecimiento o después de la explotación. Además de la pérdida de los efectos del abrigo vegetal de los residuos de los pinos, que hace que las plantaciones consecutivas no tengan humedad suficiente, se pierde una gran cantidad de elementos nutritivos como consecuencia de la lixiviación y de la erosión en los suelos mal estructurados.

3. Deberá llevarse al día un inventario regular de los suelos de las parcelas permanentes de muestra con objeto de poder relacionar los rendimientos con las mejoras o degradación del suelo. En el Apéndice 2 se formulan propuestas para establecer un programa piloto de inventario sistemático de los suelos. Es esencial un inventario periódico de las características del suelo en el mismo terreno, con objeto de poder distinguir los cambios que se produzcan, como respuesta al tratamiento, de las diferencias iniciales reales entre los suelos de parcelas que parezcan que se encuentran establecidas en estaciones análogas.

4. Deberá prestarse atención a la posibilidad de fertilización de los bosques, especialmente de los suelos más marginales. En los trópicos húmedos de tierras bajas existen extensas zonas de origen sedimentario y, actualmente, la mayor parte de los suelos están sometidos a una forestación intensiva que implica grandes inversiones. Se perderá mucho capital si se permite que tales proyectos continúen funcionando sobre una base de tanteo. Un buen plan de ordenación debería incorporar la investigación de las relaciones nutricionales entre el suelo y los árboles con objeto de que puedan adoptarse medidas correctoras en los casos en que se observe una disminución del rendi-

BIBLIOGRAFIA CITADA

- Anon. A glossary of soil science terms. Soil Science Society of America, Madison,  
1970 Wisconsin.
- Anon. Research Report, Department of Forestry, Queensland.  
1977
- Anon., NIFOR. Technical notes of Nigerian Inst. for Oil Palm Research, Benin (unpubl.).  
1978
- Ball, J.B. and Daniyan, C.O. Summary of plantation areas in the Southern States of  
1977 Nigeria. Internal paper, Federal Department of Forestry, Nigeria.
- Black, C.A. (ed.) Methods of soil analysis. Amer. Soc. of Agronomy, Agronomy Monograph  
1965 No. 9, part 2.
- Boardman, R. Longterm productivity; Position paper For. Res. Working Rep. Gp. 3 Woods  
1973 and Forests Dept., South Aust. (unpubl.).
- Boardman, R. Productivity under successive Rotations of Radiata Pine. Tech. Notes,  
1978 Aust. For. 41(3) 177-9.
- Bouyoucos, G.J. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis  
1951 of soils. Agron. J. 43, 434-38.
- Boyle, J.R., Phillips, J.J. and Ek, A.R. 'Whole tree' harvesting: Nutrient budget  
1973 evaluation, J. Forestry 71:760-2.
- Chaffey, D.R. Decline in productivity under successive rotations of forest monoculture.  
1973 Land Resources Division, ODA (mimeo, unpubl.).
- Challinor, D. Alterations of surface soil characteristics by four tree species, Ecology  
1968 49, 286-90.
- Champion, H.C. and Brannett, N.V. Choice of Tree Species. Forestry Development Paper  
1958 No. 13. FAO, Rome.
- Chijioke, E.O. Soil-site factors in relation to growth and wood quality of Gmelina  
1978 arborea (Linn) in Western Nigeria. Ph.D. Thesis, Dept. of Agronomy, Univ. of  
Ibadan.
- Cornforth, I.S. Reafforestation and nutrient reserves in the humid tropics. J. of  
1970 Applied Ecology 7(3) 609-15.
- Debano, L.F. and Rice, R.M. Fire in vegetation management. Proc. sym. interdisciplinary  
1970 aspects of watershed management, Montana State University pp. 327-346.
- Dierendonck, F.J.E. The manuring of coffee, cocoa, tea and tobacco. Centre d'etude de  
1959 l'azote, Geneva, Publ. No. 3.
- Dunsmore, J.R. et al. The agricultural development of the Gambia: an agricultural,  
1976 environmental and socioeconomic analysis. Land Resource Study No. 22, LR  
Division, MOD, Tolworth.

- Earl, D.E. Forest Energy and Economic Development. Oxford, Clarendon Press.  
1975
- Eckholm, E.P. The other energy crisis: firewood. Worldwatch Paper No. 1.  
1975a
- Eckholm, E.P. The little-known crisis, Ceres 8(6):44-7. FAO, Rome.  
1975b
- Edmisten, J. Preliminary studies of the nitrogen budget of a tropical rain forest. In  
1970 'A Tropical Rain Forest' A Study of Irradiation and Ecology at El Verde,  
Puerto Rico, ed. H.T. Odum and R.F. Pigeon. Book 3, pp. 211-5. U.S. Atomic  
Energy Commission, Washington, D.C.
- Evans, J. Plantations: productivity and prospects, Aust. For. 39(3) 150-63.  
1976
- Evans, J. Report on the 1977 resurvey of second rotation Pinus patula in the Usutu Forest  
1978a Swaziland (unpubl.).
- Evans, J. Longterm productivity in tropical and subtropical plantations, 8th World  
1978b Forestry Congress voluntary paper. Jakarta, Indonesia, 16-28 October 1978.
- FAO Guías para la descripción de perfiles de suelos (Primera Edición), FAO, Roma.  
1966
- FAO/Unesco Mapa de los suelos del mundo. Vol. IV. Sudamérica.  
1971
- FAO/Unesco Mapa mundial de los suelos, 1:5 000 000, Vol. 1, Legend, Unesco, París.  
1974
- FAO Informe del Tercer Período de Sesiones del Comité de Montes, COFO-76/Rep.,  
1977 Roma.
- FAO La silvicultura en el desarrollo de la comunidad local, Estudio FAO - Montes  
1978 No. 7, Roma.
- Fishwick, R.W. Some Sudan Zone plantation problems. Proc. 1st Niger. For. Conf. Kaduna,  
1964 35-36.
- Florence, R.G. Factors that may have a bearing upon the declines of productivity under  
1967 forest monoculture. Aust. For. 31, 50-71.
- Fraser, A.I. et al. Forest regeneration, Surinam. International For. Sci. Consultancy,  
1977 Periwik, Scotland.
- Fredriksen, R.L. Nutrient budget of a Douglas Fir forest on an experimental watershed in  
1972 Western Oregon. In Pure Research on Coniferous Forest Ecosystems, pp. 115-31.
- Golley, F.B., McCinnis, J.T., Clements, R.C., Child, G.I. and Duever, M.J.  
1975 Mineral Cycling in a Tropical Moist Forest Ecosystem. Univ. of Georgia Press,  
Athens, 248 p.

- Griffith, A.L. and Gupta, R.S. Soils in relation to teak with special reference to  
1948 laterisation. Indian For. Bull. No. 141.
- Hamilton, C.D. The effect of Monterey pine (Pinus radiata D. Don) on the properties of  
1964 natural eucalyptus forest and woodland soils. M. Sc. Thesis. Univ. of W.  
Australia.
- Hamilton, C.D. Changes in the soil under Pinus radiata. Aust. For. Vol. 29, 275-89.  
1965
- Handley, W.R.C. Mill and mor formation in relation to forest soils. For. Com. Bull.  
1954 No. 23, London.
- Hatchell, G.E., Ralston, C.W. and Foil, R.R. Soil disturbances in logging: effects on  
1970 soil characteristics and growth of loblolly pine in the Atlantic coastal plain.  
J. Forestry 68. 772-5.
- Hopkins, B. Vegetation of the Olokemeji Forest Reserve, Nigeria; IV The litter and soil  
1966 with special reference to their seasonal changes. J. Ecol. 54:687-703.
- India Progress Report 1966-72. 10th Commonw. For. Conf.  
1974
- Jeffrey, D.W. A note on the use of ignition loss as a means for the approximate estima-  
1970 tion of woil bulk density. J. Ecology 58, 297-9.
- Jenny, H., Gessel, S.P. and Bingham, F.T. Comparative study of decomposition rates of  
1949 organic matter in temperate and tropical regions. Soil Sci. 68(6) 419-32.
- Johnson, N.E. Biological opportunities and risks associated with fast growing plantations  
1976 in the tropics. J. of Forestry 74(4) 206-211.
- Keeves, A. Some evidence of loss of productivity with successive rotations of Pinus  
1966 radiata in the south-east of S. Australia. Aust. For. 30, 51-63.
- Kenworthy, J.B. Water and nutrient cycling in a tropical rain forest. In Trans. 1st  
1971 Aberdeen-Hull Symp. on Malaysian Ecol. 49-65, Univ. of Hull, Dept. of Geography,  
misc. ser. No. 11.
- King, K.F.S. Agrisilvioultura (The Taungya System). Bulletin No. 1, Department of  
1968 Forestry, Univ. of Ibadan, 109 p.
- Kowal, J.M.L. and Tinker, P.B.H. Soil changes under a plantation established from high  
1959 secondary forest. J.W. Afr. Inst. Oil Palm Res. 2(8) 376-89.
- Krauss, G., Muller, K. and Gartner, G. Standortsgemässe Durchführung der Abkehr von der  
1939 Fichtenwirtschaft im nordwestsächsischen Niederland. Thar. forstl. Jb. 90,  
481-715.
- Lamb, A.F.A. Fast-growing timber trees of the lowland tropics, No. 1, Gmelina arborea.  
1968 C.F.I. Dept. of Forestry, Univ. of Oxford.
- Laurie, M.V. and Griffith, A.L. The problem of the pure teak plantation. Indian For.  
1942 (n.s.). Silv. 121 p.

- Lawton, R.H. A review of the possible causes of yield decline in second rotation conifer plantations and some suggested lines of investigation. Land Resources Division, 1973 ODA (mimeo).
- Lundgren, B. Aims and methods of studying soil changes under different forms of land use in the humid tropics. In Tropical rainforest ecosystems research. MAB /IUFRO workshop. Special report No. 1, Hamburg-Reinbeck. 1977
- Lundgren, B. Soil conditions and nutrient cycling under natural and plantation forests in Tanzanian Highlands. Reports in Forest Ecology and Forest Soils 31, Dept. of Forest Soils, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. 1978
- Madgwick, H.A.I., Jackson, D.S. and Knight, P.J. Above-ground dry matter, energy and nutrient contents of trees in an age series of Pinus radiata plantations. N.Z. Journ. of For. Sci. 7(3) 445-468. 1977
- Mergen, F. and Malcolm, R.M. Effects of hemlock and red pine on physical and chemical properties of two soil types, Ecology 36, 468-73. 1955
- Muir, W.D. The problems of maintaining site fertility with successive croppings. Aust. J. Sci. 32, 316-24. 1970
- Murdoch, G. et al. Soils of the Western State savanna in Nigeria. Land Resource Study 1976 No. 23, LR Division, MOD, Tolworth.
- Nwoboshi, L.C. Differential influences of two exotic forest tree species on a soil. J. West African Sci. Ass. 4:31-50. 1972
- Nye, P.H. The relative importance of fallows and soils in storing plant nutrients in Ghana. J.W. Afr. Sci. Assoc. 4:31-50. 1958
- Nye, P.H. Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. Plant and Soil 13(4):333-346. 1961
- Nye, P.H. and Greenland, D.J. Changes in the soil after clearing tropical forest. Plant and Soil 21(1):101-112. 1964
- Odell, R.T. et al. Characteristics, classification and adaptation of soils in selected areas of Sierra Leone, West Africa. Agric. Exp. Stn., Univ. of Illinois Bull. 748. Njala Unive. College, Sierra Leone Bull. 4. 1974
- Odland, I.E., Bell, R.S. and Smith, J.B. The influence of crop plants on those which follow. V. Bull. Agric. Exp. Stn. Rhode Isl. Stat. Coll., Kingston No. 309. 1950
- Orman, H.R. and Will, G.M. The nutrient content of Pinus radiata trees. N.Z. J. Sci. 3(3):510-22. 1960
- Page, G. Some effects of conifer crops on soil properties. Commonw. For. Rev. 47, 52-62. 1968
- Pokhiton, P.P. The effect of various tree species on soil. Soviet Soil Sci. (6):630-34, 1958 A.I.B.S. Translation of Pochvovedeniye.



- Ralston, C.W. In proceedings of symposium on Impact of intensive harvesting on forest (in press) nutrient cycling (13-16 August 1979). State Univ. of New York, College of Environmental Science, Syracuse.
- Rennie, P.J. The uptake of nutrients by timber forest and its importance to timber production in Britain. *Quart. J. For.* 51, 101-115.  
1957
- Rennie, P.J. Some longterm effects of tree growth on soil productivity. *Comm. For. Review*, 41, 209-13.  
1962
- Robinson, J.B.D., Hosegood, P.H. and Dyson, W.G. A note on a preliminary study of the effects of an East African softwood crop on the physical and chemical condition of a tropical soil. *Comm. For. Rev. Vol. 45(4) No. 126*, 359-365.  
1966
- Robinson, R.K. Changes in mycorrhizal flora on roots of Pinus patula in Swasiland. *S. Afr. For. J.* 78:14-15.  
1971
- Robinson, R.K. Mycorrhiza and "Second rotation decline" in Pinus patula in Swaziland. *S. Afr. For. J.* 84:16-19.  
1973
- Sanchez, P.A. (Ed.) A review of soils research in tropical Latin America. N.C. Agric. Exp. Stu. Tech. Bull. 219. Raleigh.  
1973
- Savory, B.M. Specific replant diseases. *Res. Rev. Commonw. Bur. Hort. Plant. Crops No. 1*.  
1966
- Seth, S.K., Kaul, O.N. and Gupta, A.C. Some observations on nutrition cycle and return of nutrient in plantations at New Forest. *Indian For.* 89:90-98.  
1963
- Slager, S. and Saro, W. Report of a study on suitability of some soils in northern Surinam for Pinus caribaea.  
1967
- Smyth, A.J. and Montgomery, R.F. Soils and land use in Central Western Nigeria. Ibadan Government Printer.  
1962
- Stark, J. Soil and land use survey of part of the Eastern Province of Sierra Leone. Rep. TA 2574, FAO Rome.  
1968
- Stark, N. Nutrient content of plants and soils from Brazil and Surinam. *Biotropica* 2(1): 51-60.  
1970
- Stark, N. Man, tropical forests and the biological life of a soil. *Biotropica* 10(1):1-10.  
1978
- Stark, N. and Jordan, C.F. Nutrient retention by the reetmat of an Amazonian Rain Forest. *Ecology* 59(3) 434-7.  
1978
- Trinidad Progress Report 1966-72, 10th Commonw. For. Conf. U.K.  
1974
- Unesco Tropical Forest ecosystems, a state of knowledge report. Natural resources research XIV. Unesco, Paris.  
1978
- Vincent, A.J. Personal communication.  
1978

- Walkey, A. and Black, I.A. Determination of organic matter in soil. Soil Sci. 37, 1934 549-556.
- Waring, H.D. Response by Pinus radiata to fertiliser nitrogen and its significance in 1963 the maintenance of forest soil fertility. Trans. Jt. Meeting Comm. IV & V. Int. Soc. Soil Sci., New Zealand, 791-97.
- Watson, G.A. Maintenance of soil fertility in the permanent cultivation of Hevea 1964 brasiliensis in Malaya. Outlook on Agriculture 4, 103.
- Watson, G.A. Soil and plant nutrient studies in rubber cultivation. FAO/IUFRO int. 1973 Symp. on Forest Fertilization Paris 3-7 December 1973.
- Weetman, G.F. and Webber, B. The influence of wood harvesting on the nutrient status of 1972 two spruce stands. Can. J. For. Res. 2:351-369.
- Wells, C.G. and Jorgensen, J.R. In proceedings of symposium on Impact of intensive (in press) harvesting on forest nutrient cycling (13-16 August 1979). State Univ. of New York, College of Environmental Science, Syracuse.
- Wilde, S.A. Fertility of forest soils, its concepts and reality. 8th Int. Cong. of Soil 1964 Sci. Bucharest, Romania, 1964.
- Wilde, S.A. and Iyer, J.G. Growth of red pine (Pinus resinosa Ait.) on scalped soils. 1962 Ecol. 43, 771-4.
- Wilde, S.A. and Patzer, W.E. The role of soil organic matter in reafforestation. J. Am. 1940 Soc. Agron. 32:551-562.
- Wood, P.J. and Dawkins, H.C. Forest monocultures in the tropics - ecological anxieties. 1971 Unpubl. Rep. Commonw. For. Inst.
- Zuiko Ph.D. Thesis, Univ. of California, Berkeley, Cal. Quoted in Florence 1967. 1956
- Zumer Linder, M. Firewood crisis and village forestry (mimeo, unpubl.). 1976

APENDICE 1

DESCRIPCIONES DE PERFILES DE SUELOS REPRESENTATIVOS

Nota: La terminología empleada en las descripciones es la recomendada en "Guías para la descripción de perfiles del suelo" (primera edición) (FAO, 1966). El color del suelo se describe de acuerdo con los símbolos definidos en las "Munsell Soils Colour Charts".

DESCRIPCIONES DE PERFILES DE SUELOS REPRESENTATIVOS

NIGERIA

A. Ubiaja

I. Información acerca del sitio de la muestra

- a) Nombre del suelo: arenas ácidas de Benin (tipo Alagba).
- b) Clasificación a nivel de generalización amplia: Nitosoles edáficos.
- c) Fecha de la observación: 23.10.78 y 24.10.78.
- d) Autor de la descripción: E.O. Chijioke.
- e) Ubicación: los perfiles en las plantaciones de 1964 estaban situados en una sucesión topográfica, que iba de arriba a abajo, en el lado izquierdo de la carretera que conducía al Udo Rest House desde la oficina del Servicio Forestal de Ubiaja. En la plantación de 1973 los perfiles estaban distribuidos al azar sobre un terreno relativamente llano de esta plantación, que se encuentra a unos 22 km al Norte de las parcelas de 1964. En las zonas de bosque natural, que se extienden entre las plantaciones de 1964 y las de 1973, estaban distribuidos al azar.
- f) Altitud: 100-270 m por encima del nivel del mar.
- g) Pendiente: 0-4 por ciento; las zonas de las plantaciones tienen una pendiente de casi nula a suave.
- h) Vegetación y uso de la tierra: las zonas de plantación (comunicación personal) habían sido convertidas en bosques secundarios que contenían una gran variedad de frondosas y de lianas en diferentes fases de madurez. Existía la evidencia de que estas tierras se habían utilizado para la agricultura de campesinos hacía unos 30-100 años aproximadamente, pero se había recuperado de su agotamiento temporal.
- i) Clima: precipitaciones medias anuales del orden de 1 800 mm, repartidas en los 7-8 meses lluviosos; hay 4-5 meses sin lluvia. Las temperaturas medias diurnas son del orden de 29°C como máxima y 20°C como mínima.

II. Información general sobre el suelo

- a) Material de origen: principalmente lechos de areniscas no consolidadas de textura gruesa (probablemente arenas no sementadas) en las que la estratificación entrecruzada y una falsa estratificación indican que se depositaron en aguas poco profundas.
- b) Drenaje: por regla general, bien a excesivamente bien drenado.
- c) Condiciones de humedad del suelo: moderadamente húmedo.
- d) Profundidad de la capa freática: no medible, pero por lo menos 5 m.

- e) Presencia de piedras en la superficie, etc.: ninguna.
- f) Evidencia de erosión: generalmente ligera en las zonas de las plantaciones.
- g) Influencia humana: excepto la evidencia de actividades agrícolas en la fase de establecimiento de las plantaciones, no es apenas perceptible una fuerte influencia de actividad humana reciente.

### III. Breve descripción general de los perfiles

- a) El perfil del bosque natural es un suelo franco arcillo-arenoso, grueso, pardo rojizo profundo a rojo amarillento, bastante húmedo, con una capa bastante espesa de materia orgánica, depositada sobre una capa superficial con una cubierta gruesa, con numerosas y grandes raíces, distribuidas lateralmente y en la proximidad de la superficie. Abundantes raíces finas y medianas son visibles en los 40 cm superficiales, y en estos horizontes son, generalmente, más oscuros que los horizontes correspondientes de los perfiles de las plantaciones. En los horizontes superiores los colores están entremezclados con manchas de arena blanca en el perfil.
- b) El perfil en la plantación de 1973 (Ugboha) es un suelo profundo, bien drenado, rojo amarillento, con una textura arenosa y franco arenosa gruesa, bastante húmedo hasta 1 m de profundidad y el contenido de arcilla aumenta ligeramente conforme aumenta la profundidad.
- c) El perfil en la plantación de 1964 (Udo Rest House) es un suelo profundo, rojo amarillento vivo a rojo; franco arenoso grueso a franco con una capa superficial bastante gruesa, moderadamente húmeda hasta 1 m de profundidad.

### IV. Descripción de los horizontes del suelo

#### a) Perfil del bosque natural

A0 0-3 cm: gris muy oscuro (5 YR 3/1) en húmedo; grandes cantidades de materia orgánica fresca y en descomposición y algunas inclusiones de suelo mineral; manta densa de raíces finas y medianas; abundantes filamentos blancos imputables probablemente a ciertas especies de hongos; suelto. Límite distinto a abrupto.

A1 3-8 cm: pardo rojizo oscuro (5 YR 3/3), arenoso franco en húmedo; estructura en bloques subangulares, débil; friable; raíces finas y medianas frecuentes a abundantes; frecuentes a muchos poros intersticiales, finos y medianos, verticales y al asar. Límite gradual uniforme.

A3 8-16 cm: pardo rojizo oscuro (5 YR 3/4-4/4) a pardo rojizo en húmedo; arenoso franco, estructura en bloques, débil; friable, con pocas raíces finas y medianas, pocas raíces gruesas. Bastantes poros intersticiales finos, medianos y al asar. Límite gradual y uniforme.

B1 16-24 cm: pardo rojizo (5 YR 4/4) en húmedo, arenoso franco; estructura en bloques subangulares, moderada; friable, pocas raíces finas, frecuentes raíces medianas y gruesas; frecuentes poros intersticiales finos y medianos. Límite gradual uniforme.

B2 24-44 cm: rojo amarillento (5 YR 4/6) en húmedo; franco arcillo-arenoso; estructura en bloques subangulares, moderada; pocas raíces finas y medianas, pocas raíces gruesas; pocos poros intersticiales medianos y frecuentes poros intersticiales finos.

b) Perfil de la plantación de 1973

A0 0-3 cm: gris muy oscuro (10 YR 3/1) en húmedo, arenoso franco a franco arenoso; grandes cantidades de materia orgánica en descomposición mezclada con el suelo mineral, estructura en bloques subangulares, débil; red de pocas raíces finas. Límite distinto a gradual.

A1 3-12 cm: pardo oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; arenoso franco; estructura en bloques subangulares, débil; friable; pocas raíces finas y medianas; muchos poros intersticiales finos y medianos. Límite gradual uniforme.

A3 12-20 cm: pardo rojizo oscuro (5 YR 3/4) en húmedo; arenoso franco; estructura en bloques subangulares, débil; friable; pocas raíces finas y medianas; muchos poros finos y medianos. Límite gradual uniforme.

B1 20-39 cm: rojo amarillento (5 YR 4/8) en húmedo, arenoso franco; estructura en bloques subangulares, débil; friable; pocas raíces finas y medianas; pocas raíces gruesas; frecuentes poros finos y medianos. Límite gradual, uniforme.

B2 39-59 cm: rojo amarillento (5 YR 5/6) en húmedo, franco arenoso; estructura en bloques subangulares, moderada; friable a firme; muy pocas raíces finas y medianas; pocas raíces gruesas; frecuentes poros finos y medianos. Límite gradual, uniforme.

b) Perfil de la plantación de 1964

A0 0-5 cm: negro (10 YR 2/1) en húmedo; arenoso franco; grumoso; muchas raíces finas; muchos poros tubulares y canales de lombrices. Límite gradual, uniforme.

A1 5-14 cm: pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4) en húmedo, arena; estructura en bloques subangulares; friable; pocas raíces medianas y muchas raíces finas; muchos poros intersticiales finos y medianos. Límite gradual, uniforme.

A3 14-23 cm: rojo sembrío (10 R 3/2) en húmedo, arena; suelto; pocas raíces finas, medianas y gruesas; abundantes poros intersticiales medianos. Límite gradual, uniforme.

B1 23-39 cm: rojo pálido (10 R 4/3) en húmedo; arena; estructura en bloques subangulares; poros finos y medianos frecuentes. Límite gradual, uniforme.

B2 39-57 cm: rojo pálido (10 R 4/4) arenoso franco en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada; pocas raíces gruesas; numerosos poros finos y medianos. Límite gradual, uniforme.

B2+ 57-84+ cm: rojo (10 R 4/8) en húmedo; franco arcillo arenoso; estructura en bloques subangulares, moderada; pocas raíces finas y medianas; zonales.

B. Omo-Ajebandele

I. Información acerca del sitio de la muestra

a) Nombre del suelo: suelos residuales de la formación del complejo basal (suelo del tipo Egbeda e Iwo).

b) Clasificación a nivel de generalización amplia: luvisoles férricos.

- c) Fecha de observación: 21.11.78 a 23.11.78.
- d) Autor de la descripción: E.O. Chijicks.
- e) Ubicaciones: para las plantaciones de 1966, los perfiles examinados estaban situados en la zona de Ajebandele, a la derecha de la carretera principal para vehículos motorizados entre Ijebu-Ode y Ore. Las fosas de perfiles, en las zonas de las plantaciones de 1973, estaban situadas en la plantación establecida a lo largo de la ruta forestal que conducía al aserradero de Omo, a unos 5 km de la bifurcación con la carretera principal de Ijebu Ode-Ore. Los perfiles del bosque natural estaban situados en las zonas de fustales adyacentes a las plantaciones más jóvenes y a unos 4,5 km del aserradero de Omo.
- f) Altitud: generalmente inferior a 100 m por encima del nivel del mar.
- g) Pendiente: 2-5 por ciento; de casi nula a suave.
- h) Vegetación: originalmente monte alto secundario, probablemente todavía de una edad inferior a un siglo.

## II. Información general sobre el suelo

- a) Material de origen: complejo basal no diferenciado, con granitos más viejos y rocas cristalinas intermedias.
- b) Drenaje: moderado a bien drenado.
- c) Condiciones de humedad del suelo: perfil húmedo hasta más de 1 m de profundidad.
- d) Presencia de piedras en la superficie: frecuentes pero no abundantes.
- e) Evidencia de erosión: generalmente ligera en la zona.
- f) Influencia humana: aparte de los vestigios de actividad agrícola campesina en la fase del establecimiento de las plantaciones, no es perceptible ninguna fuerte influencia de la actividad humana.

## III. Breve descripción general de los perfiles

Los perfiles son de rojo amarillento a rojizo, profundos a poco más de 1 m hasta la roca desintegrada; moderadamente bien drenados con piedras y concreciones de cuarzo de concentración variable, y con un manto comparativamente espeso de materia orgánica en descomposición (3 cm) en los suelos del bosque natural.

## IV. Descripción de los diversos horizontes del suelo

### a) Perfil del bosque natural

A0/A1 0-12 cm: negro (10 YR 2/1) en húmedo, franco arenoso; friable; estructura en bloques subangulares, débil; raíces finas y medianas abundantes; frecuentes poros finos y tubulares. Límite gradual, uniforme.

A3 12-23 cm: pardo (7,5 YR 5/4) en húmedo; franco arcilloso-arenoso; estructura en bloques subangulares, moderada; firme; frecuentes raíces finas y medianas; poros finos

frecuentes, pero pocos poros medianos; frecuentes concreciones de Fe-Mn y gravas de cuarzo. Límite gradual a distinto.

B1Cn 23-45 cm: pardo (7,5 YR 5/4) en húmedo, franco; estructura en bloques subangulares, moderada; firme; pocas raíces finas y medianas; pocos poros finos pero frecuentes poros intersticiales; concreciones abundantes de Fe-Mn; cutanes zonales en las superficies de algunos agregados. Límite gradual, uniforme.

B2tcn 45-65 cm: pardo fuerte (7,5 YR 5/6), en húmedo, arcilla; estructura en bloques subangulares, moderada; firme; abundantes concreciones de Fe-Mn; pocas raíces finas y medianas; frecuentes poros finos y medianos; cutanes zonales sobre agregados que aumentan con la profundidad. Límite gradual, plano.

B2tcn 65-90/95 cm: amarillo rojizo (7,5 YR 6/6) en húmedo, arcilla; estructura en bloques subangulares, moderada; abundantes concreciones de Fe-Mn; muy pocas raíces finas; pocos poros finos y frecuentes poros medianos; cutanes delgados zonales. Límite gradual a distinto.

C 90/95+ cm: amarillo rojizo (7,5 YR 6/6) arcilla; masivo y con diversas manchas de color.

b) Perfil de la plantación de 1973

A0 0-5 cm: pardo oscuro (7,5 YR 3/2) en húmedo, arenoso franco; friable; débil grumoso; muchas raíces finas; frecuentes poros finos y tubulares, verticales y oblicuos. Límite gradual, uniforme.

A1 5-10 cm: pardo rojizo (5 YR 4/3) en húmedo, arenoso franco; friable; estructura en bloques subangulares, débil; muchas raíces finas, frecuentes raíces medianas; frecuentes poros finos y medianos. Límite gradual, uniforme.

A3 10-17 cm: pardo rojizo (5 YR 4/3) en húmedo, franco arenoso; estructura en bloques subangulares, débil a moderada; numerosos poros medianos y gruesos así como intersticios; muchas raíces finas y medianas, pero muy pocas raíces gruesas. Límite gradual a distinto.

B1cn 17-29 cm: pardo rojizo (5 YR 5/4) en húmedo; franco arcillo-arenoso; estructura en bloques subangulares, moderada, de fina a moderada; muchas raíces finas y medianas; pocas a frecuentes raíces gruesas; abundantes concreciones de Fe-Mn. Límite gradual, uniforme.

B2tcn 29-60 cm: rojo amarillento (5 YR 5/6) en húmedo, arcillo-arenoso; estructura en bloques subangulares, moderada; firme; presencia bastante frecuente de plintitos presentando manchas de color rojizo; revestimientos arcillosos muy numerosos en la superficie de los agregados; pocas raíces y bastantes poros. Límite gradual, uniforme.

B3tcn 60-95 cm: amarillo rojizo (5 YR 6/6) en húmedo, arcillo-arenoso con grava; estructura en bloques subangulares, relativamente fuerte; duro; frecuentes piedras grandes de cuarzo (5-7 cm) y muchas concreciones de Fe-Mn con revestimientos arcillosos rotos en la superficie de los agregados; pocas raíces finas; pocos poros grandes. Límite gradual a distinto.

C 95+ cm: amarillos rojizo (5 YR 6/6); roca desintegrada; masiva.



c) Perfil de la plantación de 1966

A0 0-5 cm: pardo rojizo oscuro (5 YR 3/2) en húmedo; franco arenoso; friable; migajoso; muchas raíces finas formando una especie de manto suelto; muchas raíces medianas y pocas raíces gruesas; muchos poros finos y medianos. Límite gradual, uniforme.

A1 5-9 cm: pardo rojizo oscuro (5 YR 3/3) en húmedo; franco arenoso; estructura en bloques subangulares, débil; friable; pocas piedras de cuarzo y de Fe-Mn; muchas raíces finas y medianas pero pocas raíces gruesas; pocas piedras de cuarzo ferruginosas (de unos 15 cm de diámetro). Límite gradual, uniforme.

A3 9-15 cm: rojo amarillento (5 YR 4/6) en húmedo; franco arenoso; estructura en bloques subangulares, moderada, mediana; relativamente duro; muchos poros finos y medianos; grandes piedras de cuarzo ferruginosas y pedregones de cuarcita, gravas abundantes. Límite gradual a distinto.

B1 15-35 cm: rojo amarillento (5 YR 4/6) en húmedo; franco arenoso; estructura en bloques subangulares, moderada; relativamente duro; ligeramente pegajoso; pocas raíces finas y medianas; muchos poros finos y medianos; concentraciones de grava de cuarzo y de Fe-Mn, grandes trozos de cuarcita y piedras de cuarzo ferruginosas. Límite gradual uniforme.

B2ton 35-60 cm: pardo rojizo (5 YR 4/4) arcillo-arenoso; estructura en bloques subangulares, moderada, mediana; relativamente duro y adherente; abundantes revestimientos arcillosos en las superficies de los agregados y vacíos conteniendo pequeños trozos de grava; pocas raíces y poros finos; trozos de pedregones de cuarcita. Límite gradual a distinto.

B3ton 60-95 cm: rojo amarillento (5 YR 5/6) en húmedo, arcilla; estructura en bloques subangulares, moderada; duro; adherente; revestimientos espesos de arcilla en las superficies de los agregados, concreciones y partículas más pequeñas y más suaves de minerales feldespáticos in situ. Límite gradual a distinto.

C 95+ cm: roca desintegrada, masiva.

BRASIL

A. Pacanari

I. Información acerca del sitio de la muestra

- a) Nombre del suelo: suelos podsólicos rojos-amarillos.
- b) Clasificación a nivel de generalización amplia: nitosoles dísticos.
- c) Fecha de la observación: 6.2.79 - 8.2.79.
- d) Autor de la descripción: E.O. Chijioke.
- e) Ubicación: los perfiles examinados en las plantaciones se encontraban próximos a la CPI 399 (parcela de muestreo permanente en las plantaciones de Jari); los perfiles del bosque natural se encuentran a 2 km al sur en un medio de bosque natural.

- f) Altitud: 160 m sobre el nivel del mar.
- g) Pendiente: 1-2 por ciento.
- h) Geomorfología: terreno llano a ligeramente ondulado. Los perfiles distribuidos al azar en el interior de la plantación.
- i) Vegetación: de tipo cerrado, según se describe más adelante respecto a Sao Miguel (pág. 60).

## II. Información general sobre el suelo

- a) Material de origen: esquistos arcillosos devonianos (y silurianos).
- b) Drenaje: moderadamente bien drenado a imperfectamente drenado.
- c) Condiciones de humedad del suelo: perfil generalmente húmedo en todo su espesor.
- d) Profundidad de la capa freática: a una distancia no medible.
- e) Evidencia de erosión: ligera a insignificante.
- f) Influencia humana: insignificante.

## III. Breve descripción general de los perfiles

- a) En las plantaciones de Gmelina, los perfiles son profundos, de color pardo oscuro y compactos, pero con una débil diferenciación de horizontes, con "islas" de piedras de concreción y una cantidad abundante de ramas en los 70 cm superficiales.
- b) Los perfiles del bosque natural son pardo oscuros de concreción, húmedos en las capas superficiales; se van convirtiendo progresivamente a un color pardo-amarillento, con concreciones densas, pero más secas en el subsuelo.

## IV. Descripción de los horizontes del suelo

### a) Perfil del bosque natural

A0+h 0-5 cm: pardo muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo; granco, con una capa de raíces finas entrelazadas y mezcladas con el suelo mineral; friable, poroso; límite distinto.

A1 5-15 cm: pardo rojizo (5 YR 4/4) en húmedo, arcilla; estructura en bloques subangulares, fina, débil; friable; muchas raíces finas y pocas raíces gruesas; muchos poros verticales y oblicuos, pocos canales de raíces muertas. Límite distinto, uniforme.

A3 15-25 cm: rojo amarillento (5 YR 4/6) en húmedo, arcilla; estructura en bloques subangulares, moderadamente fuerte; ligeramente duro; muchas raíces finas y pocas raíces gruesas; abundantes concreciones de Fe-Mn distribuidas bastante uniformemente en el horizonte; numerosos poros medianos oblicuos y verticales. Límite abrupto a uniforme.

B1on 25-61 cm: rojo amarillento (5 YR 4/6) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada; ligeramente duro; más del 50 por ciento de concreciones de Fe-Mn

no consolidadas; cutanes rotos en las superficies de los agregados y vacíos ocupados por concreciones; frecuentes raíces medianas y finas. Límite distinto a abrupto.

B2on 61-105 cm: amarillo rojizo (5 YR 6/8) en húmedo, arcilla; estructura en bloques subangulares a angulares; más del 65 por ciento de depósito de concreciones, en partes endurecidas; muy pocas raíces finas y ninguna raíz gruesa.

b) Perfil de la plantación de Qmelina arborea de 1973

A0/A1 0-8 cm: marrón grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo, arcillo-limoso; migajoso; friable; muchas raíces finas y medianas; muchos poros finos y medianos; piedras de concreción aisladas en lugares diversos. Límite distinto uniforme.

A3 8-18 cm: pardo (10 YR 4/3) en húmedo; arcillo-limoso; estructura en bloques poliédricos subangulares, débil; friable; muchos poros finos y frecuentes poros medianos; muchas raíces finas, muchos poros laterales y canales radiculares. Límite distinto, uniforme.

B1 18-30 cm: marrón (10 YR 4/3) en húmedo; arcillo-limoso; estructura en bloques subangulares, mediana; revestimientos opacos no adherentes, ligeramente plásticos en las superficies de los agregados; raíces medianas y finas, pocas raíces gruesas muertas dejando grandes canales horizontales; capas rotas no continuas de concreciones de Fe-Mn (blandas). Límite gradual, uniforme.

B21 30-65 cm: pardo (10 YR 4/3) en húmedo; arcillo-limoso; estructura en bloques subangulares, relativamente fuerte; ligeramente duro; pocas raíces muertas laterales; pocos poros oblicuos. Límite gradual, uniforme.

B22-65 101+ cm: pardo (10 YR 4/3) en húmedo; arcillo-limoso; estructura en bloques subangulares, fuerte; ligeramente duro; pocas raíces gruesas y frecuentes raíces finas; pocas concreciones redondeadas de piedra ferruginosa en lugares dispersos.

B. Sao Miguel

I. Información acerca del sitio de la muestra

- a) Nombre del suelo: arenas rojas-amarillas.
- b) Clasificación a nivel de generalización amplia: arenosoles ferrálicos.
- c) Fecha de la observación: 3.1.79 a 31.9.79.
- d) Autor de la descripción: E.O. Chijioke y Otavio Nuneslopes.
- e) Ubicación: los perfiles examinados en las plantaciones de pinos y de Qmelina de 1973 se encuentran situados en la proximidad de las parcelas de muestreo permanentes; en los bosques naturales se encuentran a lo largo de la carretera que conduce al campo de trabajadores de Sao Miguel. En el caso de las plantaciones de pinos, los suelos examinados se encontraban en la proximidad de la C.P.I. 506, los de las plantaciones de Qmelina, en la proximidad de otra parcela de C.P.I., 2 km antes de los perfiles de pinos, pero en el lado opuesto de la carretera. Los perfiles forestales naturales están situados en la zona de bosque natural, 1 km antes de la parcela de Qmelina y al mismo lado de la carretera.

- f) Altitud: 200 m sobre el nivel del mar.
- g) Geomorfología: (i) extendido sobre toda la sucesión de pendientes naturales; (ii) ligeramente onduladas a onduladas; (iii) microtopografía no muy perceptible.
- h) Pendiente: 2-4 por ciento.
- i) Vegetación y uso de la tierra: originalmente tipos forestales. Los informes y las observaciones indican que la vegetación era del tipo denominado Cerrado - caracterizado por árboles retorcidos con hojas grandes, raramente caducas, así como por formas biológicas bien adaptadas a los suelos no fértiles, profundos y tóxicos por el aluminio. Estos bosques han sido degradados y talados, y convertidos en plantaciones de pinos en las zonas más arenosas y en plantaciones de Gmelina en las zonas de textura mediana.
- j) Clima: las precipitaciones medias anuales en la zona de Sao Miguel, son del orden de 2 210 mm, distribuidos en los 7-8 meses de lluvias y 4-5 meses relativamente secos. La temperatura media máxima es de 36°C, y la mínima de 12°C.

## II. Información general sobre el suelo

- a) Material de origen: evidentemente pertenece a la formación de Barreiras de origen terciario y constituido de areniscas finas, piedras limosas, rocas arcillosas caoliniticas y constituidas de arcilla con depósitos de conglomerados y grava arenosa gruesa, friable a ligeramente consolidada.
- b) Drenaje: generalmente bien drenado a excesivamente bien drenado.
- c) Condiciones de humedad del suelo: en los perfiles mucho más arenosos de la plantación de pinos, los 30 cm superficiales son bastante húmedos, después, por debajo de dicho nivel, el suelo se hace mucho más seco; la textura más gruesa encontrada en las plantaciones de Gmelina es moderadamente húmeda en todo el perfil. Excepto en los 10 cm superficiales, el perfil del bosque natural es relativamente seco en todo su espesor.
- d) Profundidad de la capa freática: no se encuentra a una distancia medible, pero a más de 5 m.
- e) Presencia de piedras en la superficie: localizadas y no generalizadas.
- f) Evidencia de erosión: generalmente muy evidente en los lugares con una pendiente superior al 5 por ciento, y puede constituir un grave peligro en las pendientes abruptas. El efecto se reduce mucho en las zonas plantadas y en algunos lugares es totalmente insignificante.
- g) Influencia humana: apenas perceptible.

## III. Breve descripción general de los perfiles

- a) El suelo del bosque natural es arenoso, pardo amarillento, oscuro, ligeramente húmedo en el horizonte superior, pero más seco y de un olor mucho más vivo en el subsuelo, con algunas concreciones ferruginosas en distintos sitios a lo largo del perfil.

- b) En las plantaciones de Gmelina, hay poca diferenciación de los horizontes; suelo pardo a pardo oscuro sobre un material mucho más fino que en las plantaciones de pinos, con un horizonte bastante húmedo que reposa sobre un subsuelo seco.
- c) Los perfiles en las plantaciones de pinos se suceden de un horizonte superior moderado oscuro, cubiertos de un espeso tapiz de agujas de pinos en descomposición, y seguido de una capa de 10-15 cm de arena suelta, de un color blanco grisáceo, que reposa sobre un subsuelo arenoso de color más amarillo y un poco más consolidado, y que desciende hasta una profundidad de 1 m o más.

#### IV. Descripción de los horizontes del suelo

##### a) Perfil del bosque natural

A0 0-6 cm: pardo, pardo oscuro (7,5 YR 4/2) en húmedo; franco arenoso; migajoso; friable; cantidades abundantes de materia orgánica fresca y en descomposición; tapiz espeso de raíces finas y medianas; muchos poros medianos y finos. Límite gradual a distinto.

A3 6-13 cm: pardo (7,5 YR 5/4) en húmedo; franco arcillo-arenoso; estructura en bloques subangulares, débil; friable; muchas raíces finas y medianas; muchos poros finos y medianos. Límite gradual, uniforme.

B1 13-27 cm: pardo (7,5 YR 5/4) en húmedo; franco arcillo-arenoso; estructura en bloques subangulares, débil; friable; muchas raíces finas y medianas; muchos poros finos y medianos; revestimientos arcillosos zonales pero opacos en las superficies de los agregados. Límite gradual, uniforme.

B21 27-50 cm: pardo vivo (7,5 YR 5/8) en húmedo; franco arcilloso a arcillo-arenoso; estructura en bloques fuertemente poliédrico-subangulares, fuerte; ligeramente pegajoso y plástico; pocas raíces finas, pocos poros gruesos; "islas" aisladas de concreciones de Fe-Mn; pocos poros finos. Límite gradual, uniforme.

B22 50-95 cm: pardo vivo a pardo rojizo (7,5 YR 5/8, 6/8) franco arcilloso a arcillo-arenoso; estructura en bloques angulares, fuerte; pocas raíces medianas pero frecuentes raíces gruesas; diversos poros oblicuos y verticales; pocas "islas" de concreciones de Fe-Mn.

##### b) Plantación de Gmelina de 1973

A1 0-7 cm: pardo a pardo oscuro (7,5 YR 4/2) en húmedo; franco arenoso fino; estructura en bloques subangulares, débil; friable; muchas raíces finas, pocas raíces medianas, muchos trozos de carbón; muchos poros finos. Límite gradual, uniforme.

A3 7-16 cm: pardo (7,5 YR 5/4) franco arcillo-arenoso fino; estructura en bloques subangulares, débil; friable; muchos poros finos y medianos; muchas raíces finas y medianas, pocas raíces muertas; algunos "islotes" oscuros de depósitos de materia orgánica. Límite gradual, uniforme.

B1 16-29 cm: pardo (7,5 YR 5/4) en húmedo; franco arcillo-arenoso fino; estructura en bloques subangulares relativamente fuerte; ligeramente dura; muchos poros oblicuos medianos; pocas raíces muertas, pocas raíces finas y frecuentes raíces gruesas; poros vacíos y grandes canales radiculares. Límite gradual, uniforme.

B21 29-69 cm: pardo (7,5 YR 5/4) en húmedo; franco arcilloso; fuertemente polidrico; estructura en bloques subangulares, fuerte; duro; frecuentes raíces finas y medianas; pocas raíces muertas; muchos poros oblicuos y laterales; pocas "islas" de arena blanca en diversos sitios. Límite gradual, uniforme.

B22 69-110+ cm: pardo (7,5 YR 5/4) en húmedo; franco arcillo-arenoso fino; estructura en bloques subangulares, fuerte; duro; pocas raíces finas y frecuentes raíces medianas; muchos poros finos verticales y bastantes poros medianos pero oblicuos; sin cutanes, sin manchas de color.

c) Perfil de la plantación de Pinus caribaea de 1973

A<sub>1+H</sub> 0-7 cm: principalmente hojarasca de grandes agujas de pino, mezcladas con arena suelta; pardo claro (7,5 YR 6/4) en húmedo; con vetas de arena blanca; muchas raíces finas; trozos de carbón; muchos poros, verticales y oblicuos. Límite gradual, uniforme.

A3 7-17 cm: pardo claro (7,5 YR 6/4) en húmedo; vetas de arena blanca; estructura en bloques subangulares, suelta a muy débil; muchas raíces finas y medianas; islotes oscuros de materia orgánica acumulada. Límite gradual, uniforme.

B1 17-30 cm: pardo (7,5 YR 5/4) en húmedo; arena; estructura en bloques subangulares; friable; manchas negras de materia orgánica acumulada; muchas raíces finas y medianas; muchos poros, muchos canales laterales de lombrices y de raíces; superficies oscuras opacas de materia orgánica probablemente cimentando los granos de arena en cutanes. Límite gradual, uniforme.

B21 30-66 cm: pardo fuerte (7,5 YR 5/6) en húmedo; arenoso franco; friable; estructura en bloques subangulares, fuerte; pocas raíces finas, frecuentes raíces gruesas, canales de raíces muertas y vacíos; muchos poros finos y frecuentes poros gruesos. Límite gradual a distinto.

B22 66-120+ cm: pardo fuerte (7,5 YR 5/8) en húmedo; arenoso franco; estructura en bloques subangulares, fuerte; friable; pocas raíces finas, pocas raíces medianas; pocos poros gruesos y oblicuos, muchos poros finos; pocos trozos de carbón en zonas aisladas, sin manchas de color.

DESCRIPCION GENERAL DE OTROS SUELOS

A. Surinam

Estos suelos, por regla general, son arenosos hasta una profundidad de más de 1 m, en determinados lugares. Son de color oscuro y húmicos desde la capa superficial hasta una profundidad de unos 40-50 cm. El franco arenoso se transforma en franco arcillo-arenoso en el subsuelo, en el que el material suelto reposa sobre el material residual en las zonas correspondientes a las clases 2, 3 y 4 de la clasificación local de suelos. Los suelos de sabana, cuya altitud máxima es de 70 m por encima del nivel del mar, están recubiertos de una capa de 2-3 cm de residuos orgánicos en descomposición, mezclados con un tapiz denso de raíces finas en las zonas de bosque natural, y con un depósito de agujas de pino de 4-5 cm, en las zonas de plantación. Esta capa se transforma progresivamente en una capa arenosa, húmica, de un color rojo bastante oscuro (2,3 YR 3/2) en húmedo, en la cual se encuentran numerosas raíces finas, medianas y gruesas, distribuidas lateralmente, así como vetas de arena blanca. Se transforma a su vez en una arena amarillenta (7,5 YR 8/2) en estado húmedo, cuyo color aumenta en intensidad a partir de 25 cm de la profundidad; se encuentran también numerosas raíces finas y pocas raíces gruesas pero muchas raíces muertas gruesas.

B. Belize

Los tipos de suelo están representados aquí por sedimentos costeros en la proximidad y al sur de la ciudad de Belize; soportan matorrales bajos y bosques naturales de pinos que crecen en terrenos un poco mejor drenados que en el interior. La altitud es, por regla general, baja, 0-50 m por encima del nivel del mar. Los suelos son calcáreos en los lomos y sobre las zonas más altas que existen cerca de la zona de Belmopan, pero, más al sur, en la zona de Stan Creek, que se encuentra en la región de la reserva forestal de Silkgrass, pueden encontrarse vastas extensiones de esquistos de biotita profundamente meteorizados, que constituyen masas de suelos rojizos (10 YR 5/6), análogos a los que se encuentran en la zona de Ondo, en Nigeria. Están bien drenados, con una estructura en bloques subangulares a angulares, fuertemente desarrollada (vetas de cuarzo en diferentes lugares) y una buena distribución de arcilla en toda su profundidad. Al descender hacia la costa, cerca de Dangriga, se encuentran recientes depósitos aluviales más calcáreos. Los otros tipos de suelo hallados en la reserva de Silkgrass comprenden suelos franco arenosos con gravas, formados a partir de viejas rocas ácidas y graníticas, constituyendo terrenos porosos, formados de aristas vivas, sueltas y relativamente sin estructura. Los pinos son la principal especie establecida en este último tipo de suelo.

## APENDICE 2

### PROPUESTA DE PROYECTO PARA LA EVALUACION A LARGO PLAZO DE LOS EFECTOS DE LOS MONOCULTIVOS DE PLANTACIONES FORESTALES SOBRE LOS SUELOS DE LOS BOSQUES TROPICALES HUMEDOS DE TIERRAS BAJAS

#### Mandato del proyecto

- 1) Llevar a cabo un estudio detallado de los efectos de tales cultivos sobre:
  - a) el ciclo de los elementos nutritivos en los bosques artificiales;
  - b) las características físicas del suelo que influyen en el crecimiento de los árboles;
  - c) las propiedades químicas del suelo y su influencia en la liberación de los elementos nutritivos y en su absorción por los árboles;
  - d) la actividad microbiológica del suelo, incluyendo las poblaciones microbianas y sus efectos sobre el equilibrio de los elementos nutritivos en el suelo.
- 2) Llevar a cabo estudios sobre las cuencas hidrográficas en las zonas sometidas a programas de reforestación.

Evaluar las cantidades aportadas (por lisimetría) y las cantidades extraídas del sistema bajo los efectos de los procesos de lixiviación, escurrientías o erosión, que intervienen en la plantación, y relacionarlos con el proceso general del ciclo de los elementos nutritivos y del agua. Se estudiará el régimen de aguas en la plantación.

- 3) Desarrollar un método para estudiar la influencia de la geodegradación de las rocas generatrices del suelo sobre la capacidad de suministro de elementos nutritivos del suelo. Esto incluirá, también, la caracterización más precisa de la naturaleza de los suelos sobre los que se han establecido ya plantaciones, o que se tiene el propósito de hacerlo.
- 4) Establecer parcelas permanentes, sobre las cuales se llevará a cabo un estudio integrado de los rendimientos, de las condiciones del suelo y del régimen de aguas.
- 5) Establecer parcelas de estudio con diferentes maderas en pie genéticas, en las que podrán evaluarse los efectos sobre los suelos de diversas combinaciones de tratamientos (p.ej. diferentes especies o genotipos, diversos espaciamientos y regímenes de aclareo, ensayos de fertilizantes de diversos tipos y a diversas dosis).
- 6) Formular recomendaciones para la ordenación de cada especie, incluyendo los procedimientos que deben seguirse desde la plantación hasta el aprovechamiento y el balance general de los costos e ingresos.
- 7) Aumentar el personal de contraparte de los países participantes para que colaboren en el programa, con objeto de que puedan organizar proyectos similares sobre una base regular en sus respectivos países.

#### Justificación

Se están estableciendo actualmente grandes zonas de especies forestales de crecimiento rápido en las regiones tropicales húmedas, por ejemplo, con la ayuda del Banco Mundial, en Nigeria y otros lugares, por SODEFOR en la Costa de Marfil, y por varios otros gobiernos, por ejemplo, en América del Sur, así como en proyectos más pequeños, tales como el proyecto del río Mano, entre Sierra Leona y Liberia, y los proyectos emprendidos por los gobiernos de diversos estados de Nigeria y Malasia. La información que se proporciona en el presente informe y en otros estudios indica que muchos de los suelos tropicales son marginales y que requieren un manejo metódico. Difícilmente puede concebirse un



esquema de ordenación de suelos de plantaciones sin haber efectuado una minuciosa investigación de las relaciones suelo/plantas, respecto a cada especie individual, sobre un tipo de suelo dado. El titular de la presente beca ha indicado las zonas que requieren mucha más atención. No existe duda alguna de que los países y las organizaciones que invierten grandes sumas de dinero en tales proyectos acogerán con satisfacción la idea de efectuar investigaciones a largo plazo con objeto de asegurarse una productividad sostenida de rotación a rotación.

Si se consideran las necesidades de personal y de material (frecuentemente difícil y costosas de cubrir) es imperativo que un programa de este tipo sea coordinado centralmente. Quizás sea necesario establecer estaciones exteriores en las zonas importantes de plantación situadas en los trópicos, así como la puesta en común de las informaciones y su difusión a partir de un órgano central.

A continuación se indican las observaciones hechas por el titular de esta beca en el curso de sus visitas en el terreno, y en ellas subraya la necesidad de establecer este proyecto sobre una base permanente.

1) El problema de la muerte repentina en las plantaciones de *Gmelina*

Este problema se ha planteado en la zona de Nsukka, de Nigeria, en Sierra Leona y en Brasil.

a) En Nigeria se ha señalado que el follaje de los árboles jóvenes, de una edad de 3 a 4 años, está amarilleando y los árboles se mueren durante la estación de lluvias, época en la cual el follaje debería estar en pleno crecimiento. Existen muchos factores que podrían ser responsables de esta situación, pero, a menos que se lleve a cabo una investigación detallada, es imposible evaluar este problema que podría llegar a tener una importancia económica según su extensión.

b) Se ha sabido que árboles de un tamaño maderable en Sierra Leona se han muerto repentinamente (Vincent 1978) y, acerca de la causa de este fenómeno, solamente existen todavía suposiciones. Se han hecho sugerencias de que estas pérdidas podrían ser debidas al ataque de hongos o a una estructura pobre del subsuelo. Probablemente nadie ha investigado las relaciones de los elementos nutritivos (incluidos los microelementos) de los árboles respecto a los niveles óptimos y/o letales de algunos de estos elementos. Todas estas cuestiones están todavía esperando ser resueltas.

c) Se ha acusado a las hormigas roedoras rojas *Atta* spp. de producir la muerte repentina de los árboles de *Gmelina* en Jari. Si bien es verdad que las hormigas dañan enormemente el follaje, una observación más detenida reveló que algunas ramas se habían desecado y muerto sin que se les hubiera quitado el follaje. *Gmelina* es una planta tan resistente (versátil) que puede resistir incluso al corte de su yema terminal. Se sabe, igualmente, que la langosta *Zonocerus variegatus* causa daños importantes al follaje y a la corteza de *Gmelina* en Nigeria, pero incluso en este caso los árboles se recuperan de estos ataques después de que la plaga ha desaparecido. Es posible que las hormigas *Atta* sean los vectores de plagas secundarias, por ejemplo los virus, en cuyo caso no sería justo acusarlas como las solas responsables de esta muerte regresiva. Es necesario llevar a cabo investigaciones más detalladas.

2) *Pinus caribaea*

a) Un método especial de ordenación en las plantaciones de pinos utilizado en Brasil y en Surinam es probable que llegue a tener una importante influencia en la

ordenación de suelos. El terreno de las plantaciones se planta con cultivos forrajeros, leguminosas en algunos casos (para el pastoreo del ganado, hasta 35 vacas/ha). Es necesario evaluar los efectos del pastoreo del ganado sobre las características físicas y químicas del suelo y la influencia de cultivos tales como las leguminosas sobre la tasa de mineralización de la hojarasca de los pinos.

b) En Surinam se ha comprobado que los efectos de las operaciones efectuadas con el "bulldozer", durante la construcción de fajas, son desastrosos para el establecimiento de pinos. Será necesario estudiar mejores métodos de establecimiento de las plantaciones.

### 3) Utilización de maquinaria pesada

Actualmente se están llevando a cabo en Jari investigaciones acerca de los efectos de la utilización del equipo forestal pesado, p. ej. las máquinas que se utilizan para la explotación y la preparación del terreno. Según se ha mencionado en este informe, la gravedad de los efectos de las máquinas pesadas sobre las propiedades físicas del suelo viene determinada por la textura de éste. Deberán efectuarse investigaciones en todas las zonas en las que se utilice material de este tipo y habrá que formular recomendaciones acerca de las dimensiones máximas de las máquinas que el suelo puede soportar sin consecuencias graves.

### Necesidades de personal para el proyecto

Las investigaciones en estas áreas son relativamente especializadas y la recomendación para que se establezcan procedimientos de evaluación de los suelos, que deberán poner en práctica los administradores forestales, quizás no parezca que tenga un interés inmediato para sus operaciones. El tipo de programa de investigación integrada a largo plazo que preconiza esta propuesta necesita los servicios de especialistas en microbiología del suelo, en física del suelo, en nutrición de las plantas y del suelo, en silvicultura, en economía forestal, en patología y entomología forestales. No existe duda alguna de que sus conclusiones deberán proporcionar las respuestas a diversas cuestiones dimanantes de este tipo de ordenación forestal y permitir que se establezcan planes apropiados de ordenación para las plantaciones de diversas especies de crecimiento rápido en los trópicos húmedos de tierras bajas.

### Obligaciones del personal (resumen)

- 1) Fitopedólogo: efectuar estudios sobre los ciclos de los elementos nutritivos, incluyendo las posibilidades de fertilización en las plantaciones. Coordinar los estudios efectuados por otras unidades sobre el proceso del ciclo de los elementos nutritivos bajo cada tipo de cubierta de plantación.
- 2) Físico pedólogo: iniciar y dirigir estudios en las áreas relacionadas con la hidrología, así como estudios sobre los escurrimientos y las cuencas hidrográficas y seguir la evolución de las características físicas de los suelos con diferentes especies.
- 3) Especialista de microbiología del suelo: iniciar y dirigir estudios relativos a la influencia de las diversas especies plantadas sobre la población, las modificaciones y la actividad de la población microbiana. La influencia de las asociaciones microbianas sobre la nutrición vegetal será, igualmente, investigada.
- 4) Técnico forestal (con una sólida experiencia en inventariación y/o silvicultura): será responsable de organizar y dirigir las investigaciones (en colaboración con otros científicos) sobre las relaciones rendimiento/suelo, según la combinación de los tratamientos aplicados p. ej., espaciamiento, aclareos, etc.

- 5) Economista forestal (especializado en estadísticas): estimar los costos de las operaciones del proyecto. Preparar un balance de los ingresos de las explotaciones y de los costos operativos de la ordenación de las plantaciones. Colaborará, igualmente, con otros científicos en la planificación de programas, así como en el análisis de los datos resultantes de sus investigaciones.
- 6) Patólogo y entomólogo forestales: no formarán parte del personal ordinario del programa, pero serán designados cuando sea necesario para investigar y asesorar sobre cualesquiera problemas que se planteen en sus campos de especialización.
- 7) Tres técnicos experimentados: serán adjuntos a cada uno de los tres primeros especialistas mencionados y un asistente forestal al cuarto. Este personal será contratado por toda la duración del programa.
- 8) Otro personal técnico: podrá ser necesario, de vez en cuando, para las operaciones en el terreno y en el laboratorio; será contratado cuando sea necesario.
- 9) Servicios de secretaría: serán, igualmente, necesarios.

Para reducir los costos implícitos en llevar a cabo tales investigaciones, se sugiere que este proyecto se adjudique a un organismo oficial de investigación o a una universidad, que dispongan de una adecuada infraestructura y personal suficiente, en un país donde existan vastas plantaciones, si fuese posible de diversas especies. Cualquiera que sea la organización que financie, eventualmente, el proyecto, deberá destinar al mismo un funcionario de su personal, en calidad de coordinador residente, encargado (independientemente de su trabajo de investigación) de presentar informes regularmente a la sede.

#### Ubicación del proyecto

Teniendo debidamente en cuenta los costos implícitos para iniciar una investigación de este tipo sobre una base a largo plazo, el proyecto (según se ha indicado anteriormente), deberá adscribirse a una universidad, o a un organismo de investigación, en un país en el que se estén efectuando, actualmente, grandes inversiones en las plantaciones forestales. A este respecto viene a nuestra mente Brasil, Nigeria, Liberia/Sierra Leona y Surinam (todos en África y en América del Sur). Se sabe que EMBRAPA, en Brasil, está realizando estudios análogos sobre el desarrollo de los suelos con pastizales y cultivos agrícolas, y dicho organismo se ofreció a cooperar con el titular de la beca durante sus visitas en relación con sus estudios sobre Gmelina arborea. Aparte de Jari, existen en Brasil otras zonas de plantación donde es necesario efectuar investigaciones.

Nigeria tiene, igualmente, grandes zonas de plantación de varias especies y una Universidad que cuenta con departamentos bien establecidos de silvicultura, agronomía y biología agrícola. Estos departamentos, que disponen de un excelente personal y poseen la mayor parte del equipo sofisticado necesario para llevar a cabo las investigaciones propuestas, están (en la actualidad) realizando muy pocos trabajos de investigación debido a una suspensión de créditos. Igualmente, en estos departamentos, puede encontrarse la mayoría del personal necesario para el proyecto. El becario está convencido de que la Facultad de Agricultura y Silvicultura, de la Universidad de Ibadan, a la que pertenecen todos estos departamentos, sería adecuada y estaría dispuesta a hacerse cargo de un proyecto de este tipo. La Universidad dispone, también, de un importante centro de cálculo electrónico, perfectamente equipado con un ordenador IBM.370.

Liberia, Sierra Leona y Surinam constituyen otras posibilidades para ubicar el proyecto, pero, en estos países, sería difícil encontrar el personal necesario. Mediante un proceso de eliminación, Nigeria y Brasil, parecen que sean las soluciones más apropiadas, pero Nigeria tiene la ventaja de poseer ya, actualmente, excelentes medios e instalaciones, además del hecho de que todas las unidades de cooperación estarían situadas en el mismo lugar.

Costos del proyecto (para un proyecto con base en Ibadan, Nigeria)

A. Personal

Personal profesional

1) Fitopedólogo: deberá contratarse y se encargará no solamente de efectuar trabajos de investigación en su propia especialidad sino, también, de la coordinación del proyecto e, igualmente, será responsable de la administración del programa, frente a la organización de financiación.  $50\ 000 \times (3-5) = 150\ 000 - 250\ 000$  dólares.

2) Otro personal profesional: serán elegidos por cooptación de los Departamentos de Silvicultura, Agronomía y Biología Agrícola, y en su calidad de personal asociado recibirán una remuneración (incentivo) simbólica, de no más de 2 000 dólares al año, por un período de 3-5 años para comenzar. Se supone que el patólogo y el entomólogo solamente dedicarán el 50 por ciento de su tiempo de trabajo al proyecto.  $5 \times 2\ 000 (3-5) = 30\ 000 - 50\ 000$  dólares.

Personal técnico

3) Tres técnicos y un asistente forestal que deberán contratarse con una remuneración ligeramente superior (a título de incentivo) a los salarios vigentes en Nigeria (nivel 09).  $4 \times 6\ 600 \times (3-5) = 79\ 300 - 132\ 000$  dólares.

Personal de secretaría

4) Dos secretarías/administrativas a los niveles 08, 09 (escala nigeriana).  $5\ 254 + 3\ 766 = 9\ 020$  dólares.  $9\ 020 \times (3-5) = 27\ 060 - 45\ 100$  dólares.

Mano de obra ocasional

5) Necesidades calculadas sobre la base de las siguientes asignaciones: 10 personas para la unidad de silvicultura; 6 para la unidad de nutrición de los suelos y de las plantas; 4 para la unidad de física de los suelos; 2 para la unidad de microbiología de los suelos; a un promedio de 2 días laborales por semana, durante 3 a 5 años. Total: 2 288 días/hombre/año a la tasa de remuneración fijada por el Gobierno nigeriano de N3.00 día/hombre = N6864 =  $10\ 400 \times (3-5) = 31\ 200 - 52\ 000$  dólares.

B. Equipo

La Universidad de Ibadan dispone ya de la mayor parte del equipo necesario para esta operación. Sin embargo, quizás haya que adquirir algunos otros elementos, p.ej., un horno de corriente de aire caliente, básculas de campo, incubadoras y microscopios de alta potencia (no electrónicos) para los estudios microbiológicos, así como algunos otros elementos necesarios sobre el terreno. El costo total de todo este conjunto se calcula en unos 25 000 dólares.

C. Materiales renovables

Entre éstos se incluyen los productos químicos, materiales de plástico (contenedores y revestimientos), material de imprenta, algunos artículos de cristal y metálicos de laboratorio, de los que no disponen los laboratorios departamentales, así como materiales necesarios para los estudios de lisímetros sobre el terreno y para los estudios hidrológicos. Para un período de 3-5 años, los costos se estiman en unos 45 000 - 75 000 dólares.

D. Otros gastos de capital

Con objeto de no perturbar ni entrar en conflicto con los programas normales de investigación especializados de la Universidad, se propone que el proyecto disponga de sus propios invernaderos para los experimentos controlados y, también, de los propios medios de transporte para las operaciones sobre el terreno:

Dos invernaderos = 50 000 dólares

Dos "Land Rovers" = 24 000 dólares

más el 5 por ciento para la amortización y los gastos de reparaciones de los vehículos

= 1 200 dólares/año

= 1 200 dólares x (3-5) = 3 600 - 6 000 dólares

Total para los 3-5 años = 77 600 - 80 000 dólares.

E. Gastos de viajes

El programa prevé viajes y la instalación de estaciones exteriores cerca de los proyectos emprendidos por los gobiernos y corporaciones situadas fuera de Nigeria, y por tanto convendría prever una suma adicional de 10 000 dólares/año, para sufragar los gastos de tales viajes de trabajo. Para 3-5 años = 10 000 x (3-5) = 30 000 - 50 000 dólares.

Por tanto, para el período de 3 a 5 años de trabajo:

Total general: 501 160 - 769 100 dólares de los EE.UU.

Financiación del proyecto

Se sugiere que la presente propuesta de proyecto se haga circular ampliamente entre los donantes multilaterales y bilaterales que estén interesados en la ordenación de las plantaciones de este tipo, invitándoles a contribuir a un programa que evidentemente es de gran interés y merece la pena. Varios donantes diferentes podrían financiar diversos proyectos, por ejemplo, un proyecto en cada una de las regiones tropicales - África, Asia y América Latina.

### Resumen

Se espera que el proyecto propuesto se apoye en la metodología y en las conclusiones alcanzadas en el presente estudio y en otros estudios efectuados en este campo, y que permita una temprana realización de los objetivos deseados. De esta forma, podrán asegurarse varias rotaciones de rendimientos económicos y se obtendrán beneficios máximos derivados de las industrias dependientes de la madera de las plantaciones.

### APENDICE 3

#### CUADROS

(Véanse páginas siguientes)

CUADRO A1: Datos sobre las plantaciones<sup>1/</sup> y distribución de los suelos en las zonas visitadas

País	Lugar de la plantación	Tipo de suelo	Clasificación aproximada	Superficie (ha)	Especie	Fecha del inventario	Utilización del proyecto	Fuente de los datos
Nigeria	Estado de Banded	Arenas ácidas de Benin	Nitrosoles edáficos	7747	Gmelina arborea	1976	Madera para pasta, aserrío e industria	Ball y Daniyan (1977)
				38169	Otras <sup>2/</sup> frondosas	1976	Madera de aserrío	-do-
	Estado de Ogun	Principalmente del tipo Iwo y Egbeda, con algunos depósitos de pie de pendiente Apoma	Luvisoles férricos y cambisoles edáficos	6214	Gmelina arborea	1976	Madera para pasta y aserrío	Ball y Daniyan (1977)
				9486 16	Otras <sup>2/</sup> frondosas	1976	Madera para aserrío	-do-
					Pinus caribaea	1976	Experimental	
Sierra Leona	Provincia oriental de Kenema	Principalmente suelos ferralíticos	Ferrasoles plinticos	Menos de 2000	Gmelina arborea	1978/9	Madera para aserrío y postes	Com. pers.
							Madera para industria	
	Bradford: Ribbi Chiefdom	Suelos aluviales	Fluvisoles edáficos	Menos de 1000	Pinus caribaea	1978/9	Madera para aserrío y exportación	Com. pers.
Gambia	División occidental	Aluvión del terminal continental	Fluvisoles típicos	809	Gmelina arborea	1979	Madera para aserrío y postes	R.J. McEwan Conservador de bosques

CUADRO A' (continuación)

País	Lugar de la plantación	Tipo de suelo	Clasificación aproximada	Superficie (ha)	Especie	Fecha del inventario del proyecto	Utilización	Fuente de los datos
Brasil	Jari	Arenas rojas-	Arenosoles	30487	Pinus	Febrero	Madera para	Yield and
	Florestal	amarillas y	ferrálicos		caribaea	1979	pasta	Records Div.,
		podzoles rojo-amarillos distrícos	Nitrosos distrícos	63390	Cmelina arborea		Madera para pasta	Jari Florestal
Surinam	Mapane	Principalmente suelos residua- les con una capa superficial arenosa	Regosoles	161	Pinus caribaea Frondosas	1978	Madera para aserrío Madera para pasta	A.T. Vink, Surinam For. Surv.
Jodensavane (incluido Blakawatra) Coesevijne		Principalmente suelos de alu- viones continen- tales decolora- dos a pardos	Arenosoles	4203	Pinus caribaea Frondosas	1978	-do-	Fraser et al.
			álbicos	400				
Perica			Arenosoles	3689	Pinus caribaea Frondosas	1978	-do-	
			ferrálicos	1508				
			Regosoles	10				
				700	Pinus caribaea Frondosas	1978	-do-	



CUADRO A1 (continuación)

País	Lugar de la plantación	Tipo de suelo	Clasificación aproximada	Superficie (ha)	Especie	Fecha del inventario	Utilización del proyecto	Fuente de los datos
Belize	Zona de Stan Creek	Suelos alterados profundos	Luviales crómicos y	819	Gmelina arborea	1978	Madera para aserrío	E.O. Bradley, For. Ser.
		sobre biotitas	férricos	1904	Pinus			Belize
		y mica			caribaea			

1/ Estas cifras representan la superficie de las plantaciones de diversas especies en las diferentes zonas del país visitado. No representan, en forma alguna, las superficies totales sometidas a las plantaciones forestales en los diferentes países.

2/ Las "otras frondosas" comprenden algunas especies exóticas, tales como Tectona grandis, y varias especies indígenas de importancia económica reconocida y que, actualmente, se están estableciendo como especies de plantación.

CUADRO A2: Pesos frescos (kg) y porcentaje del contenido de humedad de árboles individuales de Gmelina y del pino

Emplazamiento geográfico	Madera de tronco incluyendo la corteza			Madera de ramas			Follaje		Epoca del muestreo
	Peso fresco	kg	% de humedad	Peso fresco	kg	% de humedad	Peso fresco	kg	% de humedad
Nigeria: Ubiaja	a 165	55	61	30	6	65	65	65	Oct-Nov.
Ugboha	b 182	59	59	31	11	72	72	72	
Gmelina 1973	c 221	60	75	26	14	70	70	70	
Nigeria: Ubiaja	a 240	51	55	58	10	63	63	63	Oct.
Udo Rest Hse.	b 312	58	56	69	12	61	61	61	
Gmelina 1964	c 338	62	60	59	11	74	74	74	
Nigeria:	a 243	36	42	31	9	59	59	59	Nov-Dic.
Oso-Ajebandele	b 275	45	47	28	12	62	62	62	
Gmelina 1973	c 291	39	49	29	10	71	71	71	
Nigeria:	a 333	43	49	32	5	56	56	56	Nov-Dic.
Oso-Ajebandele	b 419	48	50	40	9	55	55	55	
Gmelina 1966	c 481	47	54	43	6	66	66	66	
Brasil:	a 347	61	27	65	27	71	71	71	Feb.
Pacemari	b 394	66	25	56	26	74	74	74	
Gmelina 1973	c 417	65	11	54	22	83	83	83	
Brasil:	a 137	54	45	13	3	57	57	57	Ene-Feb.
Sao Miguel	b 167	58	49	16	6	64	64	64	
Gmelina 1973	c 221	53	50	15	5	65	65	65	
Brasil:	a 108	56	53	12	16	55	55	55	Ene-Feb.
Sao Miguel	b 139	57	57	14	19	59	59	59	
Pinos 1973	c 152	64	70	13	16	57	57	57	

a = árbol sumergido  
b = árbol medio  
c = árbol dominante

CUADRO A3: Pesos frescos y grado de humedad medios de Gmelina y del pino (error típico entre paréntesis)

Emplazamiento geográfico	Madera de tronco incluyendo la corteza		Madera de ramas		Follaje		Corteza en % de madera de tronco más corteza en estado seco
	Peso fresco kg	% de humedad	Peso fresco kg	% de humedad	Peso fresco kg	% de humedad	
Nigeria: Ubiaja							
Ugboha	189,0	58,0	29,0	65,0	10,3	69,0	6,12
Gmelina 1973	(23,44)	(2,16)	(2,16)	(7,12)	(3,26)	(2,94)	
Nigeria: Ubiaja							
Udo Rest Hse.	297,0	57,0	62,0	57,0	11,0	66,0	10,47
Gmelina 1964	(41,45)	(4,55)	(4,96)	(2,16)	(0,82)	(5,72)	
Nigeria:							
Oso-Ajebundele	270,0	40,0	29,3	46,0	10,3	64,0	6,2
Gmelina 1973	(19,95)	(3,74)	(1,26)	(2,94)	(1,3)	(5,09)	
Nigeria:							
Oso-Ajebundele	411,0	46,0	38,3	51,0	6,7	59,0	6,65
Gmelina 1966	(60,68)	(2,16)	(4,64)	(2,16)	(1,70)	(4,97)	
Brasil:							
Pacamari	386,0	64,0	58,3	21,0	25,0	76,0	10,66
Gmelina 1973	(29,70)	(2,17)	(4,8)	(7,12)	(2,17)	(5,09)	
Brasil:							
Sao Miguel	175,0	55,0	14,7	48,0	4,7	62,0	13,5
Gmelina 1973	(34,75)	(2,17)	(1,25)	(2,16)	(1,2)	(3,56)	
Brasil:							
Sao Miguel	133,0	59,0	13,0	60,0	17,0	57,0	12,9
Pinos 1973	(18,45)	(3,56)	(0,82)	(7,26)	(1,41)	(1,53)	

**CUADRO A4: Pesos secos medios de las partes aéreas de Omelina y de pino (kg/ha.)**

Emplazamiento geográfico	Promedio de árboles por hectárea	Madera de tronco	Corteza	Madera de ramas	Follaje	Total de partes aéreas	Hojarasca <sup>1/</sup> Hojarasca ha/año (bosque muestreo tropical húme- do)	Hojarasca de bosque natural	Epoca del muestreo
<b>Nigeria:</b>									
<b>Ugboha</b>									
Omelina 1973	683	51 000	3 300	6 900	2 200	63 400	700		Oct.-Nov.
<b>Nigeria: Ubiaja</b>									
<b>Udo Rest House</b>									
Omelina 1964	667	76 400	8 900	17 800	2 500	105 600	800		Octubre
<b>Nigeria:</b>									
<b>Oso-Ajebundele</b>									
Omelina 1973	754	114 400	7 600	11 900	2 800	136 700	1 900		Nov.-Dic.
<b>Nigeria:</b>									
<b>Oso-Ajebundele</b>									
Omelina 1966	702	145 440	10 300	13 200	1 900	170 500	1 700	7 170	Nov.-Dic.
<b>Brasil:</b>									
<b>Pacamari</b>									
Omelina 1973	639	79 300	9 500	29 400	3 800	122 000	13 500		Febrero
<b>Brasil:</b>									
<b>Sao Miguel</b>									
Omelina 1973	633	43 200	6 700	4 900	1 100	55 900	22 700		Ene.-Feb.
<b>Brasil:</b>									
<b>Sao Miguel</b>									
Pino 1973	981	46 800	6 900	5 100	7 200	66 000	64 700	111 350	Ene.-Feb.

<sup>1/</sup> Comprende la cobertura viviente además de los árboles

CUADRO A5: Contenido en elementos nutritivos de Gmelina arborea (en % del peso seco)

Emplazamiento geográfico	Edad (años)	Componente	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Textura del suelo	Clasificación del suelo	Total excluyendo Mn
<u>Nigeria:</u> Ubiaja	5,5	Hojarasca	0,89	0,11	0,55	0,21	0,25	363	Franco	Nitrosoles	4,72
		Follaje	2,20	0,17	1,69	0,31	0,35	195	arenoso a franco	edáficos	0,75
		Madera de tronco	0,15	0,01	0,48	0,05	0,06	103	franco		
		Cortesa	0,61	0,06	0,90	0,83	0,34	126	arcillo-arenoso		
		Madera de ramas	0,19	0,01	0,36	0,10	0,62	78			
Ubiaja	14,5	Hojarasca	0,84	0,12	0,34	0,65	0,60	315	Franco	Nitrosoles	3,59
		Follaje	1,28	0,27	0,36	0,96	0,72	161	arenoso a franco	edáficos	0,49
		Madera de tronco	0,15	0,01	0,18	0,10	0,05	61	franco		
		Cortesa	0,26	0,03	0,35	0,88	0,16	88	arcillo-arenoso		
		Madera de ramas	0,20	0,02	0,17	0,14	0,08	65			
Ubiaja	Bosque natural	Hojarasca	1,99	0,10	1,34	0,39	0,52	582			
Ono-Ajebandele	5,5	Hojarasca	1,55	0,11	1,88	0,40	0,43	181	Franco	Luvisoles	4,65
		Follaje	2,21	0,17	1,41	0,43	0,43	149	arenoso a arcillo-arenoso	férricos	1,42
		Madera de tronco	0,23	0,03	0,73	0,41	0,02	8			
		Cortesa	0,67	0,07	1,06	0,37	0,18	33			
		Madera de ramas	0,27	0,04	0,71	0,37	0,02	16			
Ono-Ajebandele	12,5	Hojarasca	2,55	0,11	1,79	0,45	0,40	143	Franco	Luvisoles	5,13
		Follaje	2,05	0,17	1,84	0,64	0,43	102	arcillo-arenoso a arcillo-arenoso	férricos	1,15
		Madera de tronco	0,16	0,01	0,53	0,44	0,01	12			
		Cortesa	0,44	0,04	0,71	0,69	0,12	11			
		Madera de ramas	0,43	0,07	0,96	0,38	0,06	13			
Ono-Ajebandele	Bosque natural	Hojarasca	1,87	0,08	1,03	0,53	0,39	815			

CUADRO A5: (continuación)

Emplazamiento geográfico	Edad (años)	Componente	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Textura del suelo	Clasificación del suelo	Total (excluyendo Mn)
<u>Brasil:</u>		Hojarasca	1,02	0,31	0,12	0,87	0,22	62	Franco	Nitrosoles	
		Follaje	2,51	0,30	0,74	0,71	0,30	50	arcillo-	districos	4,56
Pacanari	6	Madera de tronco	0,15	0,04	0,15	0,02	0,03	-	so a ar-		0,39
		Corteza	0,67	0,09	0,22	0,08	0,25	12	cillo-		
		Madera de ramas	0,25	0,05	0,15	0,17	0,06	-	limoso		
Pacanari	Bosque natural	Hojarasca	1,59	0,08	0,07	0,27	0,15	150			
Sao Miguel	6	Hojarasca	0,90	0,10	0,11	0,71	0,34	150	Arenoso	Arenosoles	4,09
		Follaje	2,18	0,31	0,89	0,34	0,37	75	franco-	ferrálicos	0,30
		Madera de tronco	0,11	0,02	0,12	0,02	0,03	-	franco		
		Corteza	0,42	0,07	0,29	0,37	0,24	37	arenoso a		
		Madera de ramas	0,29	0,07	0,24	0,10	0,08	25	franco-	limoso	
Sao Miguel	Bosque natural	Hojarasca	1,00	0,07	0,09	0,31	0,13	175			

CUADRO A6: Contenido en elementos nutritivos de Pinus caribaea (en % del peso seco)

Emplazamiento geográfico	Edad (años)	Componentes de la muestra	N	P	K	Ca	Mg	Textura del suelo	Clasificación del suelo	Total
Brasil: Sao Miguel	5-6	Hojarasca de pino	0,35	0,02	0,02	0,27	0,13	Franco	Arenosoles	
		Follaje	1,21	0,14	0,18	0,69	0,08	arenoso	ferrálicos	2,30
		Madera de tronco	0,18	0,04	0,07	0,04	0,03	a arena		0,36
		Corteza	0,21	0,02	0,01	0,09	0,02			
		Madera de ramas	0,22	0,04	0,05	0,06	0,03			
Surinam: Blakkavatra	5-6	Follaje	0,99	0,07	0,21	0,89	0,28	arena	Arenosoles	2,44
		Madera de tronco	0,16	0,01	0,01	0,12	0,05		álbicos	0,35
		Corteza	0,23	0,01	0,14	0,14	0,05			
		Madera de ramas	0,23	0,01	0,05	0,20	0,05			
Blakkavatra	8-9	Follaje	1,05	0,06	0,33	0,54	0,13	arena a	Arenosoles	2,11
		Madera de tronco	0,24	0,02	0,11	0,14	0,04	franco	ferrálicos	0,55
		Corteza	0,14	0,01	0,01	0,08	0,03	arenoso		
		Madera de ramas	0,26	0,02	0,10	0,26	0,06			
Blakkavatra	15-16	Follaje	0,98	0,07	0,62	0,46	0,09	arena a	Arenosoles	2,22
		Madera de tronco	0,15	0,01	0,20	0,16	0,04	franco	ferrálicos	0,56
		Corteza	0,17	0,01	0,10	0,10	0,04	arenoso		
		Madera de ramas	0,29	0,02	0,15	0,21	0,06			

CUADRO A7: Contenido de elementos nutritivos en las partes componentes de los árboles (kg/ha)

Emplazamiento geográfico	Especie	Edad (años)	Textura Clasificación del suelo	Componentes de los árboles	Nitrógeno kg/ha	Fósforo kg/ha	Potasio kg/ha	Calcio kg/ha	Magnesio kg/ha
Nigeria : Ubiaja	Gmelina arborea	5,5	Franco-arenoso a franco-arcillo-arenoso	Contenido total de los árboles	158	12	336	66	92
				Follaje	48	4	37	7	8
				Madera de ramas	13	1	25	7	43
				Corteza	20	2	30	27	11
				Madera de tronco	76	5	245	25	31
Nigeria : Ubiaja	Gmelina arborea	14,5	Franco-arenoso a franco-arcillo-arenoso	Contenido total de los árboles	205	21	208	204	85
				Follaje	32	7	9	24	18
				Madera de ramas	36	4	30	25	14
				Corteza	23	3	31	79	14
				Madera de tronco	115	8	138	76	38
Nigeria : Omo-Ajebandele	Gmelina arborea	5,5	Franco-arcillo-arenoso a arcillo-arenoso	Contenido total de los árboles	408	49	1 039	553	51
				Follaje	62	5	39	12	12
				Madera de ramas	32	5	85	44	2
				Corteza	51	5	80	28	14
				Madera de tronco	263	34	835	469	23
Nigeria : Omo-Ajebandele	Gmelina arborea	12,5	Franco-arcillo-arenoso a arcillo-arenoso	Contenido total de los árboles	374	31	1 006	774	43
				Follaje	39	3	35	12	8
				Madera de ramas	57	9	127	50	8
				Corteza	45	4	73	71	12
				Madera de tronco	233	15	771	640	15



CUADRO A7: (continuación)

Emplazamiento geográfico	Especie (años)	Edad (años)	Textura del suelo	Clasificación aproximada del suelo	Componentes de los árboles	Nitrógeno kg/ha	Fósforo kg/ha	Potasio kg/ha	Calcio kg/ha	Magnesio kg/ha
Brasil: Pacamari	Gmelina arborea	6	Franco ar- cilloso a arcillo- limoso	Nitosol dístico	Contenido total en los árboles	352	63	208	185	79
					Folleaje	96	11	28	27	11
					Madera de ramas	74	15	44	50	17
					Corteza	63	9	21	92	24
					Madera de tronco	119	29	115	16	27
Brasil: Sao Miguel	Gmelina arborea	6	Arenoso franco/ franco	Arenosol ferrálico	Contenido total en los árboles	128	22	93	42	39
					Folleaje	24	4	10	4	4
					Madera de ramas	14	4	12	5	4
					Corteza	42	5	19	25	16
					Madera de tronco	48	9	52	9	15
Brasil: Sao Miguel	Pinus caribaea	6	Arenoso franco a franco	Arenosol ferrálico	Contenido total en los árboles	197	33	46	78	25
					Folleaje	87	10	13	50	6
					Madera de ramas	11	2	2	3	2
					Corteza	15	2	1	6	1
					Madera de tronco	84	19	30	19	16

CUADRO A8: Propiedades físicas de los suelos - Nigeria

Emplazamiento geográfico	Descripción de la parcela	Muestra No.	Profundidad de la muestra	Arena	Limo	Arcilla total
Nigeria: Ubiaja	Perfil del bosque natural	011 A0/Ah	0-3	76,4	15,6	8,0
		010 A1	3-8	85,6	5,6	8,8
		009 A3	8-16	85,6	5,6	8,8
		007 B1	16-24	85,6	3,6	10,8
		008 B2	24-44+	67,6	1,6	30,8
	Ugboha 1973 Perfil de la plantación de Gmelina	014 A0/Ah	0-3	78,4	13,6	8,0
		105 A1	3-12	80,4	11,6	8,0
		013 A3	12-20	82,4	7,6	10,0
		016 B1	20-39	80,4	11,6	8,0
		017 B2	39-59	78,4	5,6	16,0
		012 B21	59-94+	76,4	5,6	18,0
	Udo Rest Hse. 1964 Perfil de la plantación de Gmelina	023 A0	0-5	80,4	11,6	8,0
		018 A1	5-14	88,4	3,6	8,0
		019 A3	14-23	92,4	1,6	6,0
		021 B1	23-39	90,4	1,6	8,0
		022 B2	39-57	84,4	3,6	12,0
		020 B2t	57-84	58,4	3,6	38,0
	Bosque natural muestra compuesta	025	0-10	82,0	7,6	10,4
		024	10-20	84,4	5,6	10,0
		026	20-40	84,0	3,6	12,4
	Ugboha 1973 Muestra compuesta	004	0-10	81,6	9,6	8,8
		006	10-20	81,6	7,6	10,8
		001	20-40	83,6	5,6	10,8

CUADRO AB: (continuación)

Emplazamiento geográfico	Descripción de la parcela	Muestra No.	Profundidad de la muestra	Arena	Limo	Arcilla total
Nigeria: Ubiaja	Udo Rest Hse. 1964 muestra compuesta	005	0-10	85,6	5,6	8,8
		003	10-20	89,6	1,6	8,8
		002	20-40	89,6	1,6	8,8
Nigeria: Ono-Ajebandele	Perfil del bosque natural	042 Ah+A1	0-12	78,0	9,6	12,4
		043 A3	12-23	58,0	9,6	32,4
		044 B1cn	23-45	50,0	27,6	22,4
		045 B2tcm	45-65	40,0	7,6	52,4
		046 B3tcm	65-90/95	36,0	7,6	56,4
		047 C	90-95+	38,0	14,4	47,6
	Perfil de la plantación de Ouelina de 1973	048 Ah	0-5	80,0	10,4	9,6
		049 A1	5-10	80,0	10,4	9,6
		050 A3	10-17	76,0	6,4	17,6
		051 B1cn	17-29	58,0	10,4	31,6
		052 B2tcm	29-60	48,0	8,4	43,6
		053 B3tcm	60-95	42,0	6,4	51,6
		054 C	95+	38,0	8,4	53,6
	Perfil de la plantación de Ouelina de 1966	036 Ah	0-5	68,0	19,6	12,4
		037 A1	5-9	74,0	11,6	14,4
		038 A3	9-15	68,0	19,6	12,4
		039 B1cn	15-35	70,0	9,6	20,4
		040 B2tcm	35-60	46,0	5,6	48,4
		041 B3tcm	60-95	42,0	5,6	52,4
	Bosque natural muestra compuesta	033	0-10	64,0	9,6	26,4
		034	10-20	60,0	7,6	32,4
		035	20-40	50,0	7,6	42,4

CUADRO A8: (continuación)

Emplazamiento geográfico	Descripción de la parcela	Muestra No.	Profundidad de la muestra	Arena	Limo	Arcilla total
Nigeria: Oco-Ajebandele	Plantación de Omelina de 1966	027	0-10	74,0	13,6	12,4
		028	10-20	64,0	7,6	28,4
		029	20-40	62,0	9,6	28,4
	muestra compuesta	030	0-10	76,0	7,6	16,4
		031	10-20	70,0	9,6	20,4
		032	20-40	66,0	9,6	24,4
	1973	068	0-10	71,6	12,4	16,0
		069	10-20	73,6	14,4	12,0
		070	20-40	77,6	10,4	12,0
	muestra compuesta	065	0-10	68,0	12,4	19,6
		066	10-20	70,0	6,4	23,6
		067	20-40	60,0	8,4	31,6
	1976	062	0-10	72,0	14,4	13,6
		063	10-20	72,0	10,4	17,6
		064	20-40	64,0	10,4	25,6
	muestra compuesta	059	0-10	70,0	10,4	19,6
		060	10-20	66,0	10,4	23,6
		061	20-40	64,0	8,4	27,6
	1978	056	0-10	70,0	14,4	15,6
		057	10-20	66,0	10,4	23,6
		058	20-40	62,0	8,4	29,6

CUADRO 19: Propiedades físicas de los suelos - Brasil

Emplazamiento geográfico	Descripción de la parcela	Muestra No.	Profundidad de la muestra	Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla total
Pacuarí	Perfil del bosque natural	083 A0/Ah	0-5	15	3	32	50
		084 A1	5-15	8	3	22	67
		085 A3	15-25	4	2	18	76
		086 IIB1tcn	25-65	3	1	18	78
		087 IIB2tcn	65-105+	5	2	12	81
	Perfil de la plantación de Quilina de 1973	088 A0/A1	0-8	19	9	28	44
		089 A3	8-18	12	6	13	69
		090 B1t	18-30	9	7	12	72
		091 B21t	30-65	9	6	14	71
		092 B22t	65-101+	10	7	14	69
	Bosque natural muestra compuesta	158	0-10	7	1	27	65
		159	10-20	5	1	23	71
		160	20-40	5	2	24	69
	Plantación de Quilina de 1973 muestra compuesta	144	0-10	13	7	20	60
		145	10-20	11	7	21	61
		146	20-40	13	6	19	62
	Plantación de Quilina de 1974 muestra compuesta	123	0-10	5	2	17	76
		124	10-20	4	2	18	76
		125	20-40	3	2	23	72
	Plantación de Quilina de 1975 muestra compuesta	126	0-10	12	11	23	54
		127	10-20	8	9	26	57
		128	20-40	8	8	20	64
	Plantación de Quilina de 1976 muestra compuesta	132	0-10	7	9	21	63
		133	10-20	6	8	23	63
		134	20-40	5	8	20	67

CUADRO A9: (continuación)

Emplazamiento geográfico	Descripción la parcela	Muestra No.	la muestra	Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla total
Pacaná	Plantación de	129	0-10	11	8	22	589
	Orchidea de 1977	130	10-20	9	7	22	62
	muestra compuesta	131	20-40	7	6	20	67
	Plantación de	117	0-10	7	6	22	65
	Orchidea de 1978	118	10-20	6	6	18	70
	muestra compuesta	119	20-40	4	5	19	72
	Limpieza y que-	141	0-10	10	4	20	66
	mada. No se plan-	142	10-20	6	3	32	59
	tó en 1979	143	20-40	7	3	22	68
	muestra compuesta						
	Zona con el problema	164	0-20	6	3	30	61
	de muerte repentina	165	20-40	4	3	25	68
Munguba	Suelo indiano	153	0-20	66	16	9	9
	Orchidea	154	20-40	65	14	10	11
	muestra compuesta	155	40-60	53	14	12	21
		156	60-80	43	14	12	31
		157	80-100	42	13	12	33
Sao Miguel	Perfil del bosque	096 A0/Ah	0-6	73	9	4	14
	natural	097 A3	6-13	62	11	6	21
		098 B1	13-27	51	13	6	30
		099 B21	27-50	46	14	9	31
		100 B22	50-95	44	15	7	34

CUADRO A9: (continuación)

Replasmiento geográfico	Descripción de la parcela	Muestra No.	Profundidad de la muestra	Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla total
Sao Miguel	Perfil de la plantación de Omelina de 1973	104 A1/A0	0-7	63	13	5	19
		105 A3	7-16	51	15	6	28
		106 B1	16-29	47	14	7	32
		107 B21	29-69	43	15	7	35
		108 B22	69-110+	45	16	4	35
	Perfil de la plantación de pinos de 1973	109 AL+H	0-7	96	2	1	1
		110 A3	7-17	81	7	3	9
		111 B1	17-30	95	2	x	3
		112 B21	30-66	87	3	2	8
		113 B22	66-120+	84	5	1	10
	Bosque natural	101	0-10	61	13	6	20
	muestra compuesta	102	10-20	51	14	8	27
		103	20-40	46	16	8	30
	Plantación de Omelina de 1973	093	0-10	54	14	8	24
	muestra compuesta	094	10-20	44	17	9	30
		095	20-40	39	16	11	34
	Plantación de pinos de 1973	150	0-10	91	4	x	5
	muestra compuesta	151	10-20	88	4	x	8
		152	20-40	79	5	2	14
	Plantación de pinos de 1974	114	0-10	94	2	1	2
	muestra compuesta	115	10-20	90	4	2	4
		116	20-40	83	6	5	6
	Plantación de pinos de 1976	120	0-10	90	3	2	5
	muestra compuesta	121	10-20	88	4	1	7
		122	20-40	79	5	2	14

CUADRO 19: (continuación)

Emplazamiento geográfico	Descripción de la muestra	Muestra No.	Profundidad de la muestra	Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla total
Sao Miguel	Plantación de	161	0-10	85	4	4	7
	pinos de 1977	162	10-20	67	10	8	15
	muestra compuesta	163	20-40	66	8	8	18
	Plantación de	138	0-10	77	7	4	12
	pinos de 1978	139	10-20	69	8	8	15
	muestra compuesta	140	20-40	61	11	4	24
	limpiada y quemada	135	0-10	90	4	2	6
	No plantada en 1979	136	10-20	76	6	5	13
	muestra compuesta	137	20-40	77	6	3	14



CUADRO A10: Análisis físicos de perfiles representativos - Brasil

Referencia de la muestra	Densidad aparente	Densidad de las partículas	% del volumen Material sólido	Porosidad	humedad %	% de aire en estado natural	Textura
<u>Pacanari-perfil del bosque natural</u>							
Horizonte A	0,858	2,689	31,91	68,09	37,30	30,79	franco arcilloso
Horizonte B	0,935	2,815	33,21	66,79	37,00	29,79	a arcillo-limoso
<u>Pacanari-perfil Quelina 1973</u>							
Horizonte A	1,173	2,766	42,41	57,59	46,50	11,09	franco arcilloso
Horizonte B	1,154	2,767	41,71	58,29	40,90	17,39	a arcillo-limoso
<u>Sao Miguel-perfil del bosque natural</u>							
Horizonte A	1,385	2,764	50,11	49,89	24,60	25,29	arenoso franco/franco
Horizonte B	1,505	2,693	55,89	44,11	28,60	15,51	arenoso a franco limoso
<u>Perfil Quelina 1973</u>							
Horizonte A	1,366	2,872	47,56	52,44	24,00	28,44	arenoso franco-franco
Horizonte B	1,376	2,767	49,73	50,27	19,30	10,97	arenoso a franco limoso
<u>Perfil pinos 1973</u>							
Horizonte A	1,458	2,854	51,09	48,91	4,60	44,31	arenoso franco-franco
Horizonte B	1,427	2,852	50,04	49,96	13,40	36,56	arenoso a franco limoso

CUADRO A11: Análisis químico de los suelos - Nigeria

Emplazamiento geográfico	Descripción de la parcela	Muestra No.	Profundidad de la muestra cm	p	Carbono orgánico N total %	imible g/g	Extracción a NH <sub>4</sub> OAc µg/g				Acidez total (Al+H) me/100g	
							Ca	Mg	Na	K		
Nigeria:	Perfil del bosque natural	011 A0/Ah	0-3	5,7	2,33	0,247	1282	346	17	175	19	0,46
		010 A1	3-8	5,8	0,76	0,079	253	98	24	62	8	0,68
		009 A3	8-16	5,5	0,56	0,059	94	53	26	55	7	0,24
		007 B1	16-24	5,2	0,52	0,050	53	31	22	43	7	0,32
		008 B2	24-44	4,8	0,57	0,078	99	22	17	42	8	1,52
Ubiaja	Perfil de Ugboha 1973	014 A0/Ah	0-3	7,5	1,82	0,306	1772	157	5	55	19	0,50
		015 A1	3-12	7,1	0,92	0,116	749	88	4	31	10	0,20
		013 A3	12-20	7,1	0,57	0,066	539	68	5	34	9	0,22
		016 B1	20-39	7,1	0,52	0,050	318	58	5	37	7	0,22
		017 B2	39-59	6,9	0,48	0,049	247	138	4	56	7	0,16
		012 B21	59-94+	5,7	0,38	0,041	205	26	18	55	8	0,30
	Perfil de Udo Rest Hse. 1964	023 A0	0-5	6,9	2,26	0,198	1454	283	7	37	17	0,24
		018 A1	5-14	6,3	1,23	0,150	656	58	10	14	12	0,16
		019 A3	14-23	6,2	0,70	0,094	251	58	17	7	8	0,32
		021 B1	23-39	6,0	0,65	0,066	263	35	15	9	10	0,14
		022 B2	39-57	5,2	0,58	0,066	111	23	17	7	8	0,40
		020 B2t	57-84+	4,8	0,76	0,091	117	22	9	6	8	1,34
	Bosque natural muestra compuesta	025	0-10	5,4	1,13	0,125	284	93	36	38	8	0,38
		024	10-20	5,4	0,86	0,088	184	64	33	35	8	0,36
		026	20-40	5,1	0,73	0,069	140	57	26	34	6	0,66
	Ugboha 1973 muestra compuesta	004	0-10	7,1	0,89	0,128	876	123	3	41	12	0,32
		006	10-20	7,0	0,74	0,093	590	105	3	47	9	0,44
		001	20-40	6,5	0,41	0,069	359	86	7	58	11	0,50
	Udo Rest Hse. 1964 muestra compuesta	005	0-10	6,6	1,54	0,163	753	148	6	16	12	0,26
		003	10-20	5,6	0,73	0,103	214	47	14	8	7	0,12
		002	20-40	5,3	0,55	0,075	328	23	21	7	7	0,10

CUADRO A11: (continuación)

Repase- miento geográ- fico	Descripción de la parcela	Muestra No.	Profundi- dad de	pH	Clor- o, nico	% de N total	Similabl µg/g	Ext:			a NH <sub>4</sub> OAc µg/g		Acides total (Al+H) me/100 g
								Ca	Mg	Na	Na	Na	
Nigeria: Omo- Ajebunde	Perfil del	042 Ah+Al	0-12	4,3	2,63	0,288	3,6	515	61	11	51	8	1,58
	bosque natural	043 A3	12-23	4,0	1,69	0,163	1,4	247	47	2	23	7	2,16
		044 B1cn	23-45	4,3	1,42	0,116	0,3	238	54	1	30	6	3,38
		045 B2tcn	45-65	4,3	1,13	0,094	0,1	178	36	1	41	7	3,66
		046 B2tcn	65-95	4,4	0,90	0,088	0,3	190	42	1	31	8	3,18
		047 C	90+	4,3	0,68	0,066	0,3	190	40	1	18	7	3,00
	Perfil de la	048	0-5	6,4	2,38	0,263	4,8	1778	209	9	37	12	0,36
	plantación de	049	5-10	6,1	1,48	0,144	3,3	869	107	6	16	8	0,12
		050	10-17	5,5	1,01	0,094	1,3	512	68	2	14	8	0,64
	Omelina de 1973	051	17-29	4,5	0,84	0,081	1,4	211	30	1	14	5	2,16
		052	29-60	4,1	0,79	0,084	0,5	205	41	1	25	5	2,94
		053	60-95	4,3	0,71	0,072	0,2	119	31	1	42	6	3,24
		054	95+	4,4	0,60	0,069	0,2	122	18	1	50	7	3,00
	Perfil de la	036 Ah	0-5	5,7	2,55	0,381	2,3	1353	268	7	75	14	1,12
	plantación de	037 A1	5-9	6,1	1,81	0,181	1,4	576	121	3	35	8	0,38
		038 A3	9-15	4,5	1,20	0,125	0,9	278	63	2	23	8	1,26
	Omelina de 1966	039 B1cn	15-35	4,4	1,04	0,103	0,3	149	44	1	23	8	2,14
		040 V2tcn	35-60	4,7	0,92	0,097	0,3	137	63	1	33	8	3,90
		041 B3tcn	60-95	4,5	0,92	0,102	1,1	122	62	1	28	8	3,78
	Bosque natural	033	0-10	4,0	2,40	0,384	4,2	303	46	6	53	13	2,76
	muestra compuesta	034	10-20	4,1	1,54	0,234	1,2	175	57	3	50	9	2,92
		035	20-40	4,2	1,20	0,156	0,6	111	38	1	28	7	2,84
	1966	027	0-10	5,5	1,83	0,275	3,1	804	114	4	36	14	0,34
	muestra compuesta	028	10-20	4,8	1,27	0,194	1,0	449	53	3	33	15	1,10
		029	20-40	4,4	1,27	0,184	0,9	372	48	3	33	10	1,46
	1973	030	0-10	5,6	1,86	0,325	6,5	915	102	4	31	13	0,16
	muestra compuesta	031	10-20	5,3	1,52	0,266	3,6	760	84	6	30	12	0,20
		032	20-40	4,9	1,18	0,184	1,8	426	55	6	31	11	0,42
	1974	068	0-10	6,6	1,97	0,253	16,8	1358	146	6	48	17	0,42
	muestra compuesta	069	10-20	5,8	1,89	0,159	6,3	611	79	7	36	13	0,60
		070	20-40	6,1	1,44	0,135	3,9	576	79	7	40	13	0,86

CUADRO A11: (continuación)

Eplase- miento geográ- fico	Descripción de la parcela	Muestra No.	Profundidad de la parcela cm	pH	Carbono orgánico %	N total %	P asimi- lable µg/g	Extrac. a NH <sub>4</sub> OAc µg/g				Acides total (Al+H) me/100 g
								Ca	Mg	Na	K	
1975	muestra compuesta	065	0-10	6,1	2,12	0,234	10,9	1082	147	7	51	8 0,18
		066	10-20	5,5	1,84	0,173	5,1	611	99	7	43	12 0,14
		067	20-40	5,6	1,44	0,144	5,7	621	115	8	46	12 0,24
1976	muestra compuesta	062	0-10	6,5	1,26	0,181	9,5	930	142	8	62	8 0,18
		063	10-20	6,3	1,01	0,141	3,1	525	105	11	62	6 0,28
		064	20-40	5,6	0,75	0,071	2,3	436	83	14	75	5 0,30
1977	muestra compuesta	059	0-10	5,6	2,06	0,199	14,1	922	161	11	75	8 0,86
		060	10-20	4,5	1,42	0,128	7,3	287	60	12	45	5 1,04
		061	20-40	4,5	1,06	0,094	1,7	226	65	10	46	4 0,90
1978	muestra compuesta	056	0-10	6,3	2,38	0,284	36,3	1507	150	12	125	13 1,26
		057	10-20	5,6	1,36	0,156	7,5	553	76	23	75	8 0,80
		058	20-40	5,0	1,17	0,120	2,0	349	76	22	55	7 0,74

CUADRO A12: Análisis químicos de los suelos - Surinam

Emplazamiento geográfico de la muestra	Profundidad	pH	%C	% de N total	P asimilable	Extrac. a NH <sub>4</sub> OAc µg/g				CEC me/100g me/100g	Acidez total (Al+H)
						Ca	Mg	K	Na		
Bosque natural I - monte alto	0-10	4,4	1,84	0,08	7,0	56	15,6	19,5	4,6	4,22	1,45
	10-20	4,6	1,37	0,09	4,8	10	8,4	19,5	6,9	3,69	1,69
	20-40	5,0	1,30	0,08	5,0	4,0	4,8	39,0	6,9	4,29	1,55
Bosque natural II - monte alto	0-10	4,4	1,38	0,08	6,2	10,0	51,6	23,4	6,9	3,40	0,07
	10-20	4,4	0,69	0,03	3,1	2,0	19,2	3,9	6,9	1,54	0
	20-40	5,0	0,10	0,01	1,1	2,0	3,6	3,9	4,6	0,32	0
Plantación de pinos 1972	0-20	4,5	0,69	0,04	4,2	10,0	2,4	0	4,6	1,74	0,58
	20-40	4,5	1,17	0,07	6,7	20,0	8,4	39	6,9	2,69	0,70
Plantación de pinos 1969/70	0-20	4,6	1,54	0,11	3,9	60,0	15,6	15,6	6,9	4,79	1,46
	20-40	4,6	0,99	0,08	2,2	30,0	10,8	7,8	6,9	4,23	1,68
Plantación de pinos 1964	0-10	4,6	1,60	0,11	4,8	6,0	13,2	27,3	4,6	4,85	1,60
	10-20	4,6	1,12	0,08	3,1	3,0	8,4	7,8	4,6	4,09	1,50
	20-40	5,0	0,98	0,06	2,8	50,0	10,8	0,0	6,9	3,94	1,61

**APENDICE 4**

**FIGURAS**

**( Véanse páginas siguientes )**

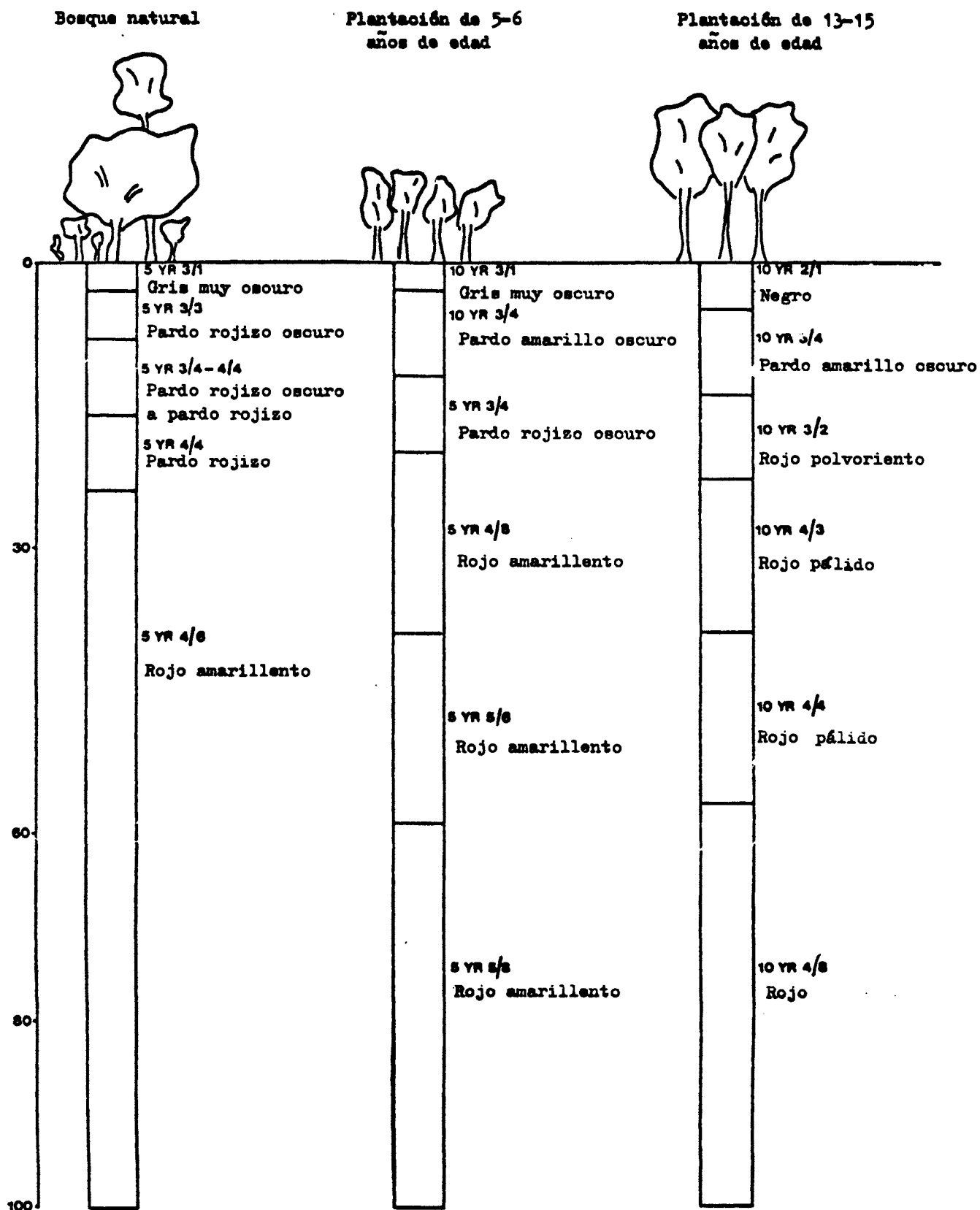


FIGURA A1: UBLAJA. PERFILES DE PLANTACIONES DE GMEIINA ARBOREA Y DEL BOSQUE NATURAL

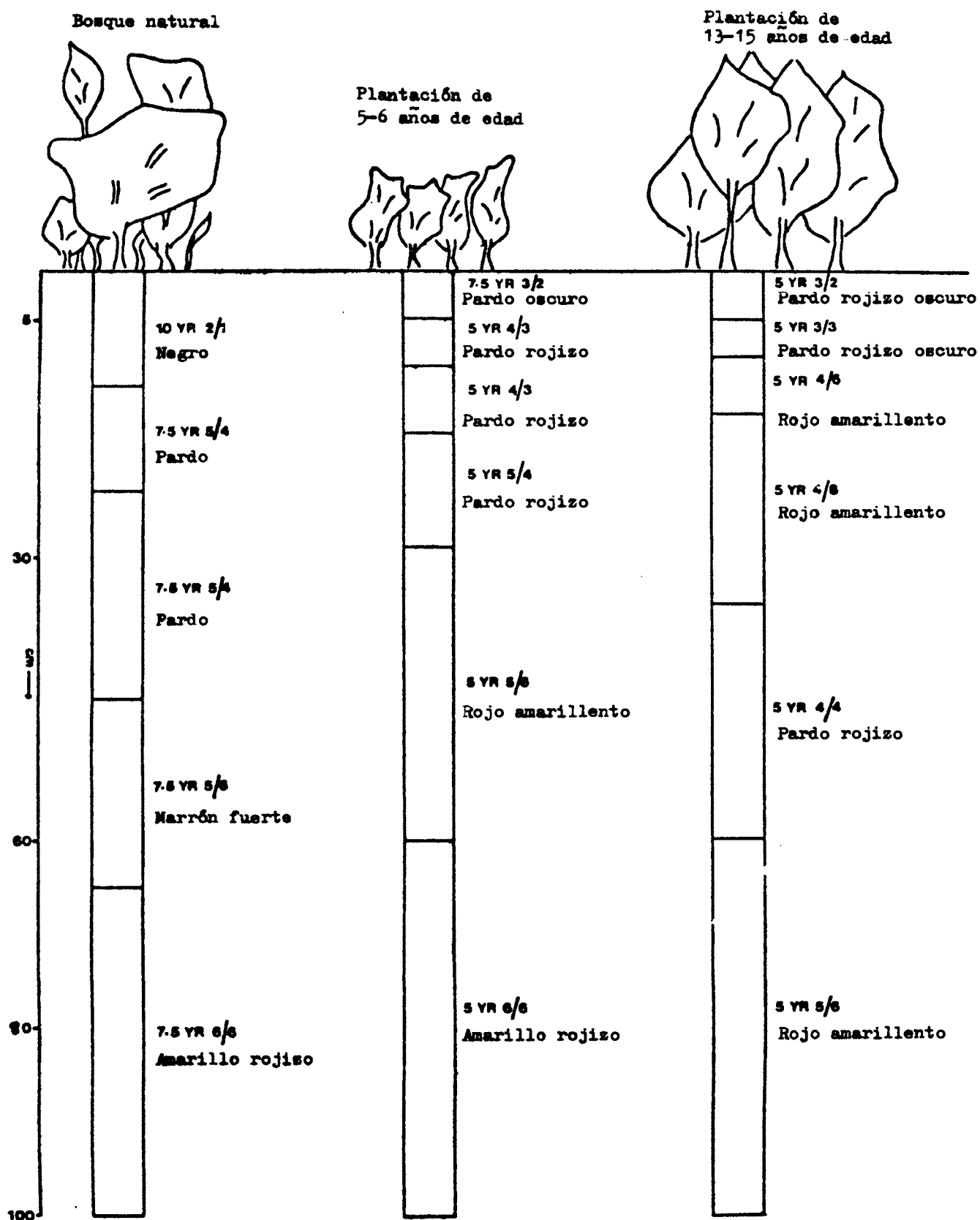


FIGURA A2: OMO-AJEBANDELE. PERFILES DE LAS PLANTACIONES DE GMELENA ARBOREA Y DEL BOSQUE NATURAL



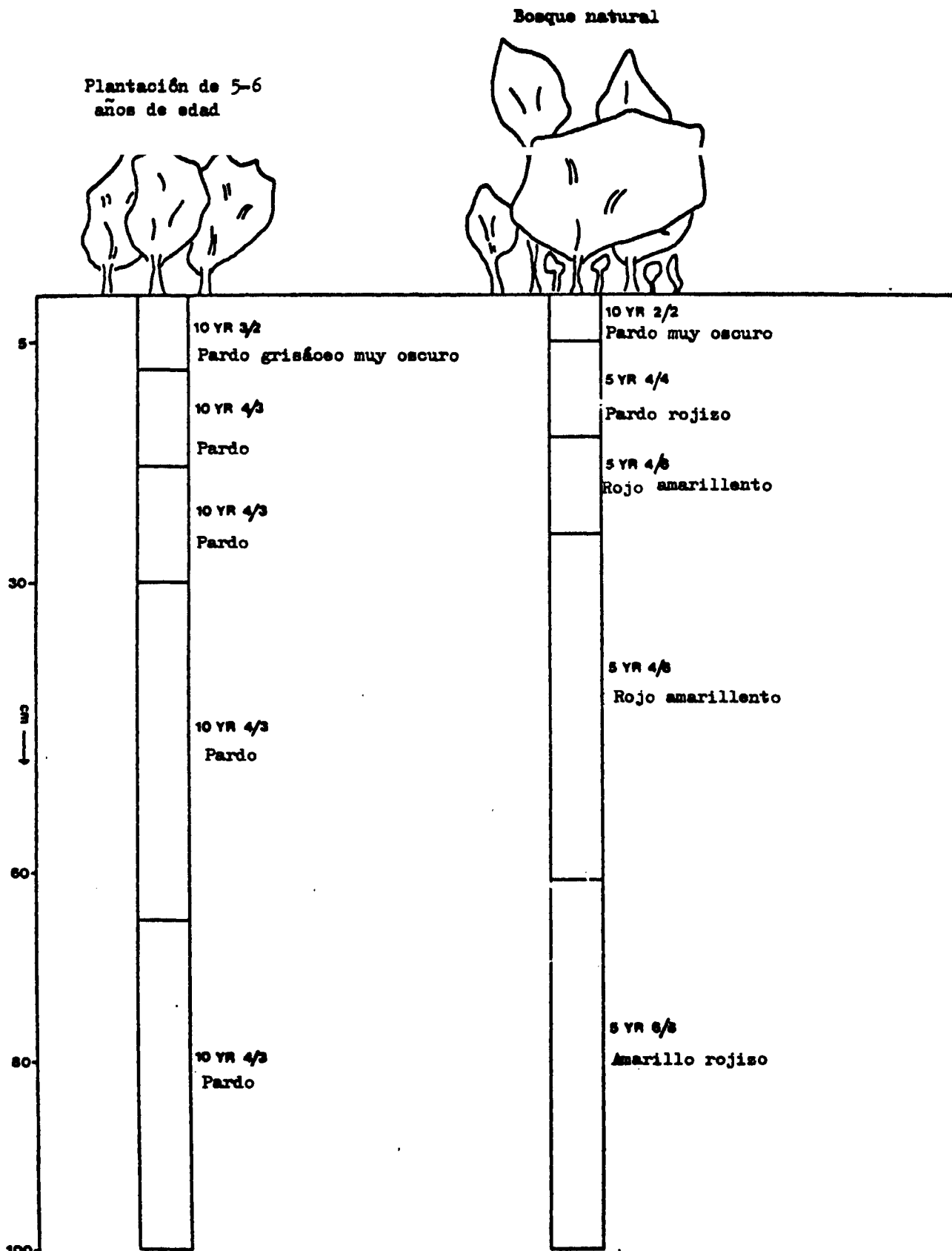


FIGURA A3: PACANARI. PERFILES DE LAS PLANTACIONES DE GUELINA ARBOREA Y DEL BOSQUE NATURAL

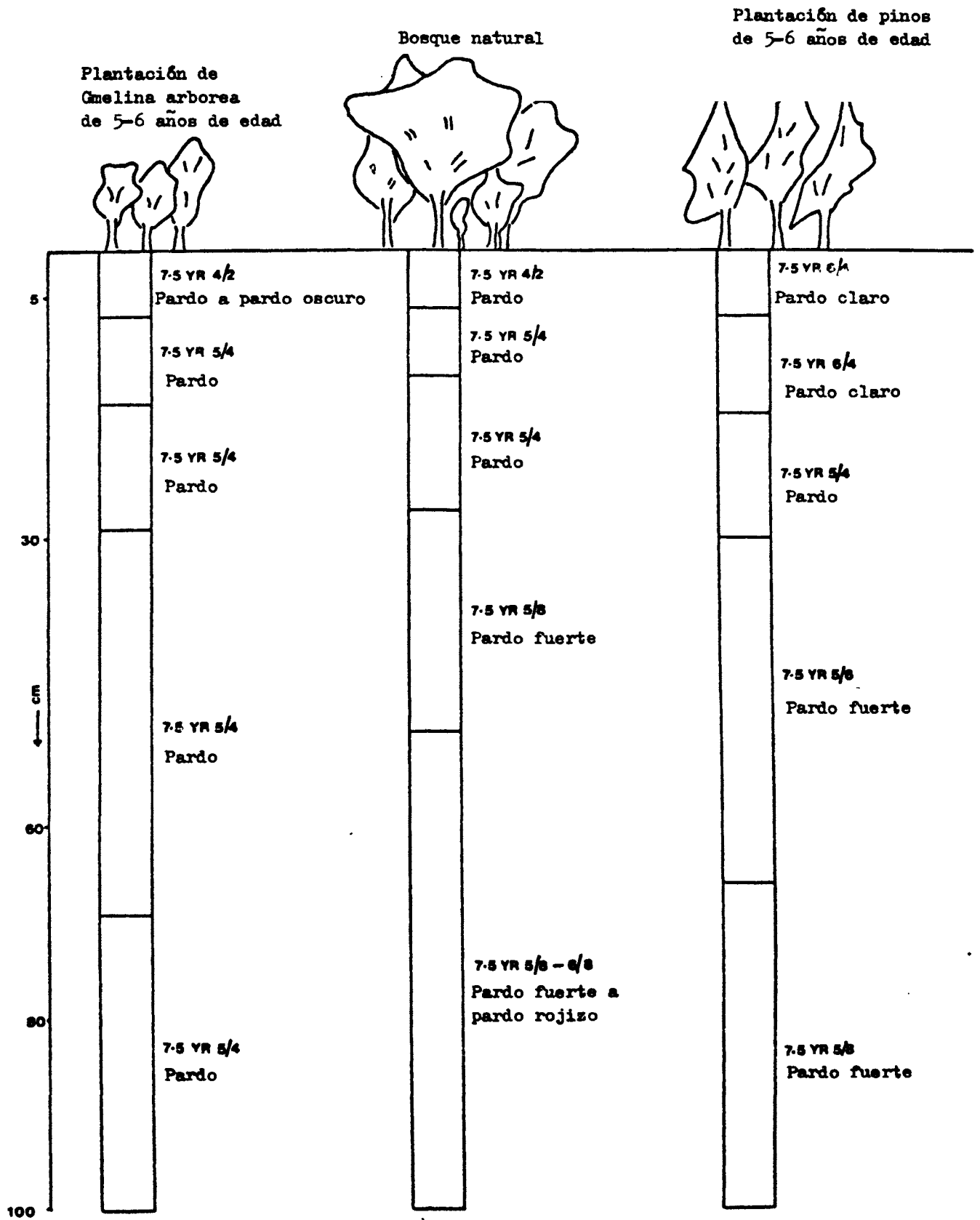


FIGURA A4: SAO MIGUEL

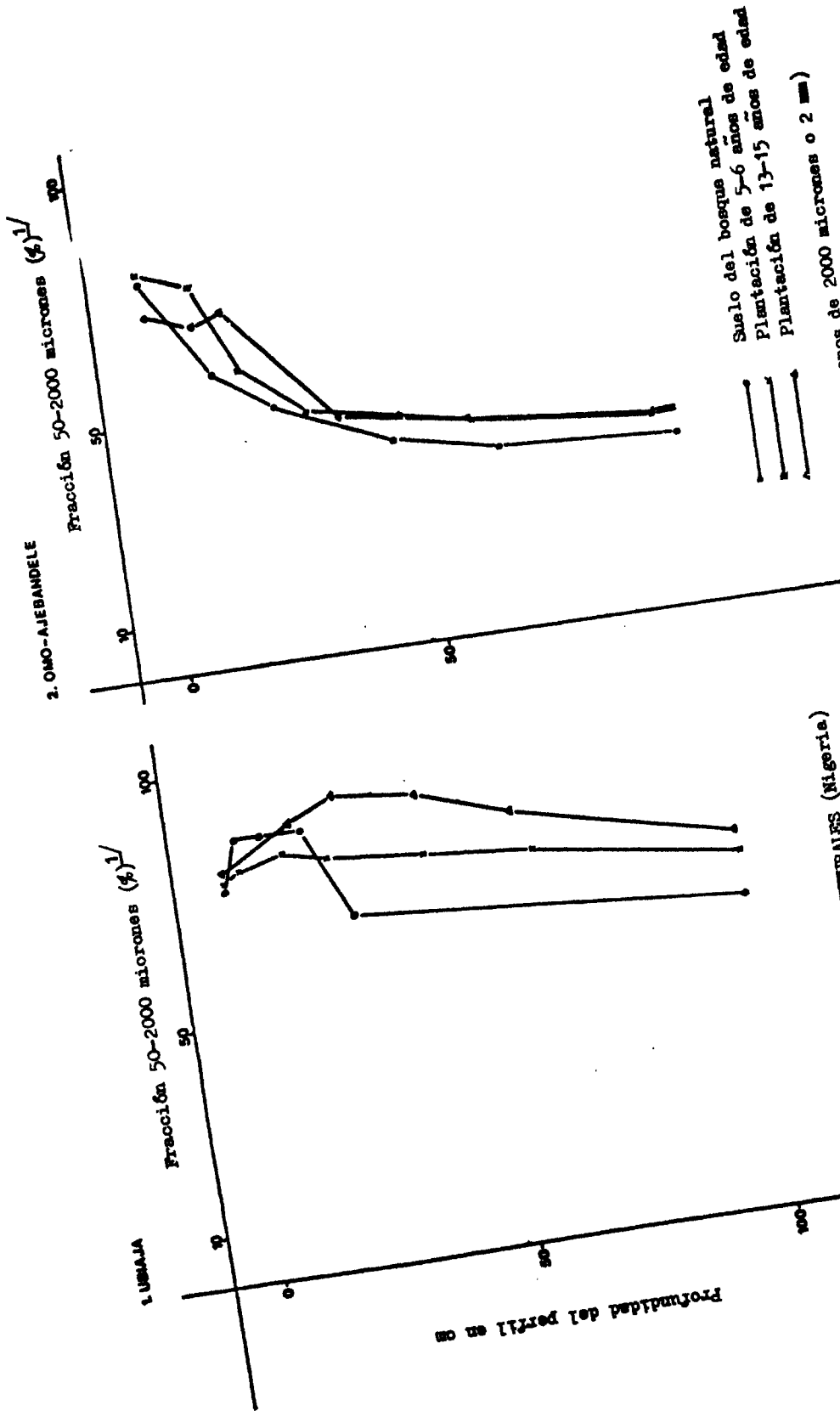


FIGURA A5: TENDENCIAS TEXTURALES (Nigeria)

1/ Es decir, arena como fracción de "tierra fina" total (todas las partículas de menos de 2000 micrones o 2 mm)

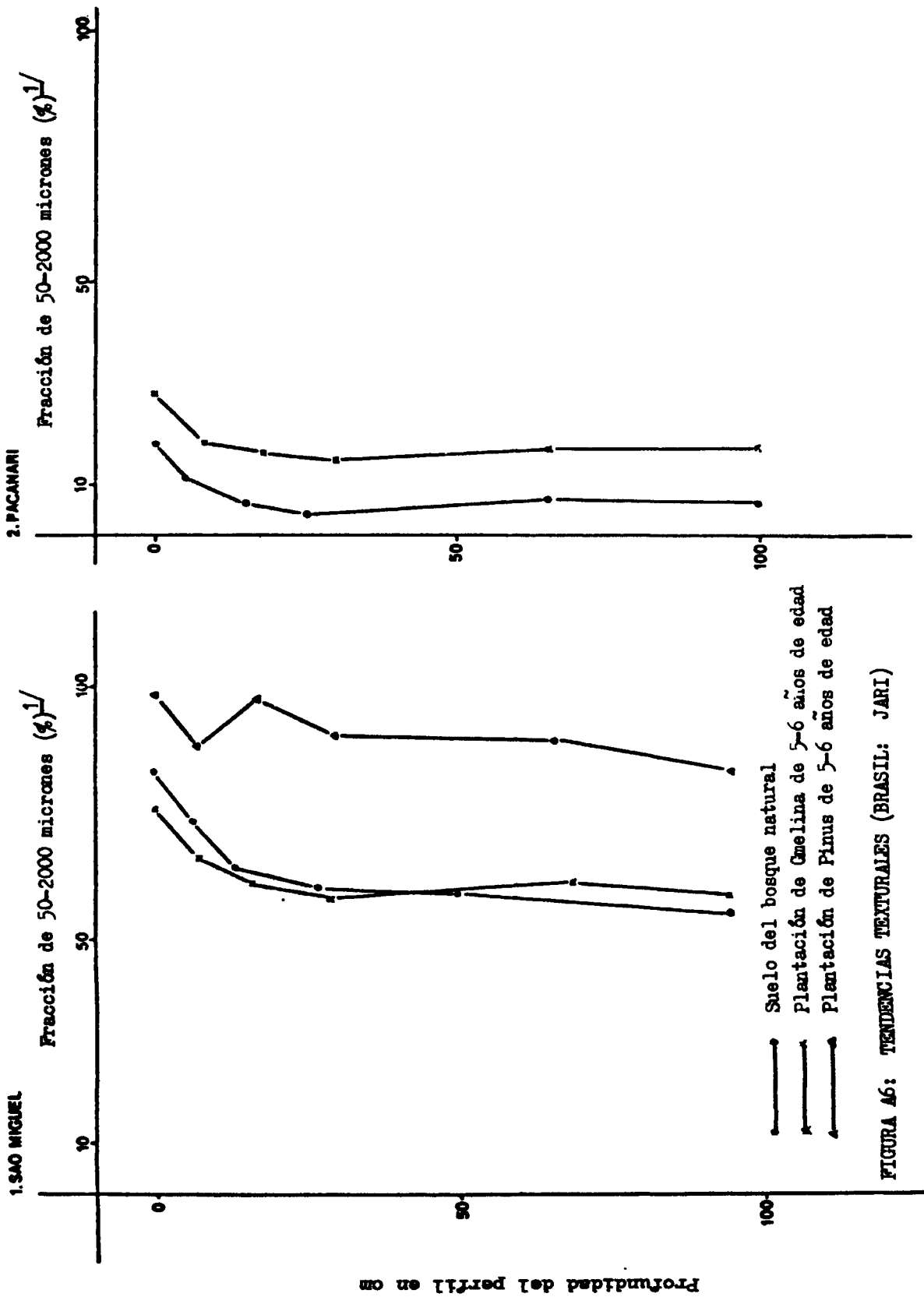


FIGURA A6: TENDENCIAS TEXTURALES (BRASIL: JARI)

1/ Es decir, arena como fracción de "tierra fina" total (todas las partículas hasta de 2000 micrones o 2 mm)

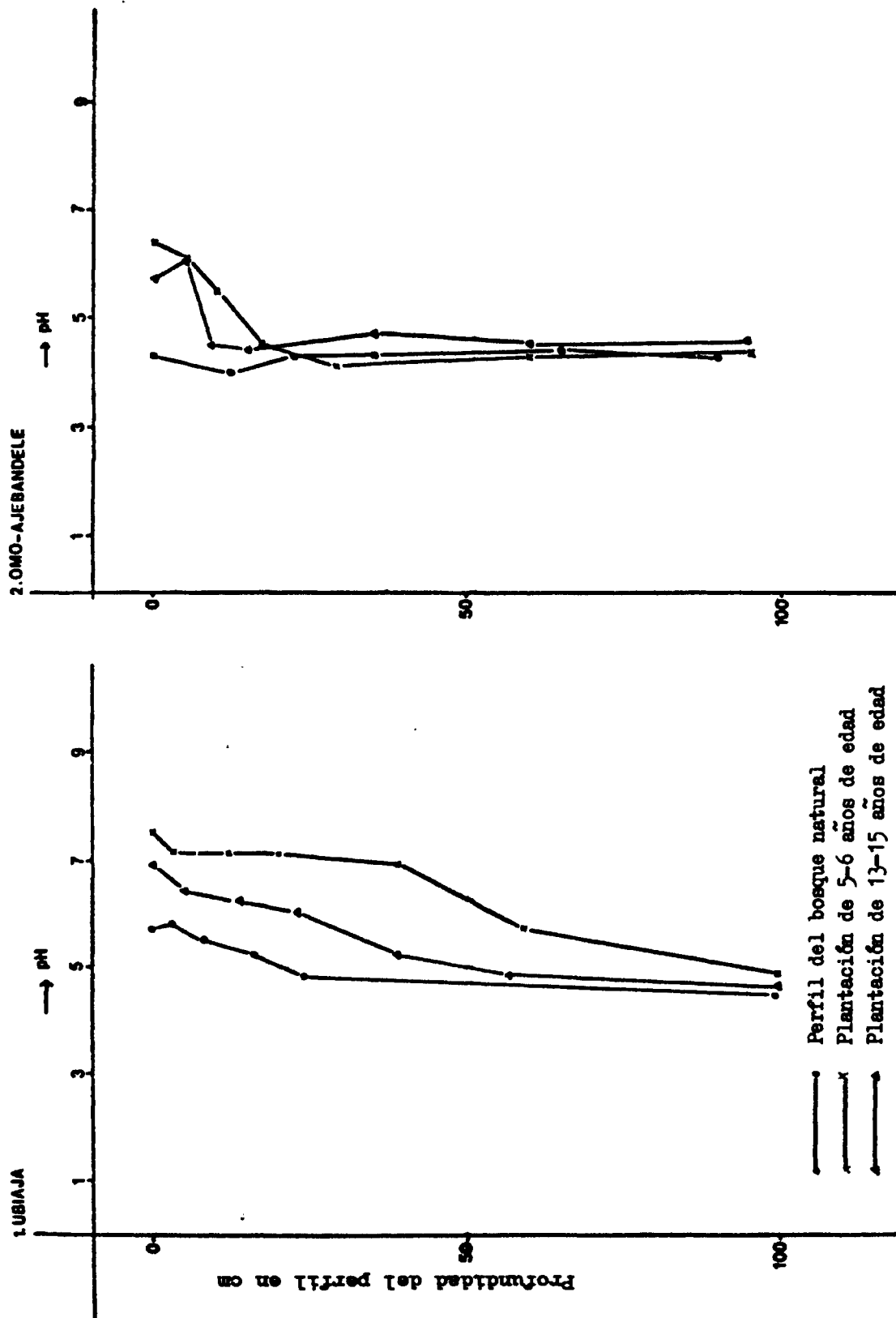


FIGURA A7: MODIFICACIONES DEL pH SOBRE EL ESPESOR DE LOS PERFILES: NIGERIA

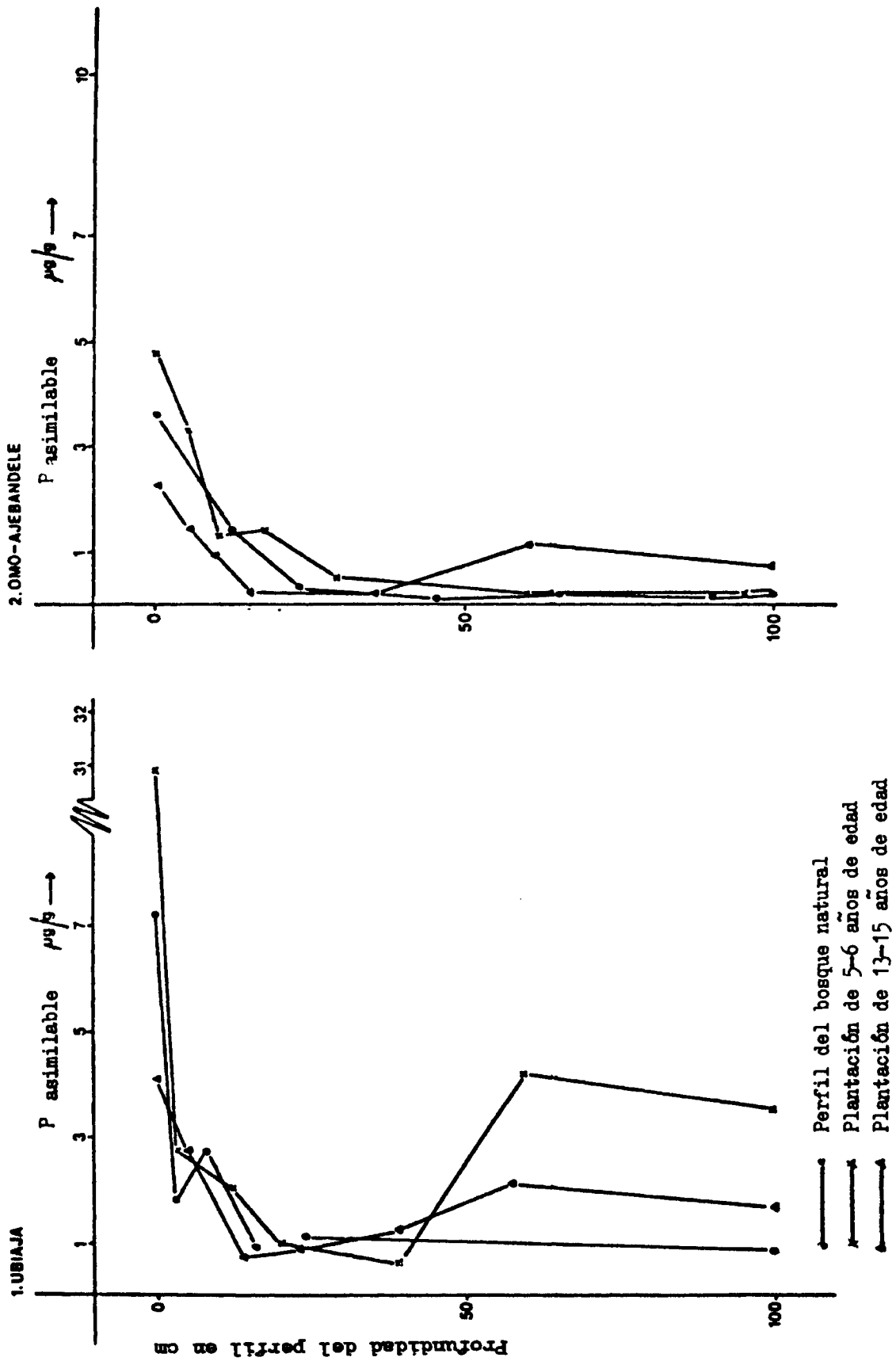


FIGURA A8: DISTRIBUCION DEL FOSFORO ASIMILABLE SOBRE EL ESPESOR DE LOS PERFILES: NIGERIA

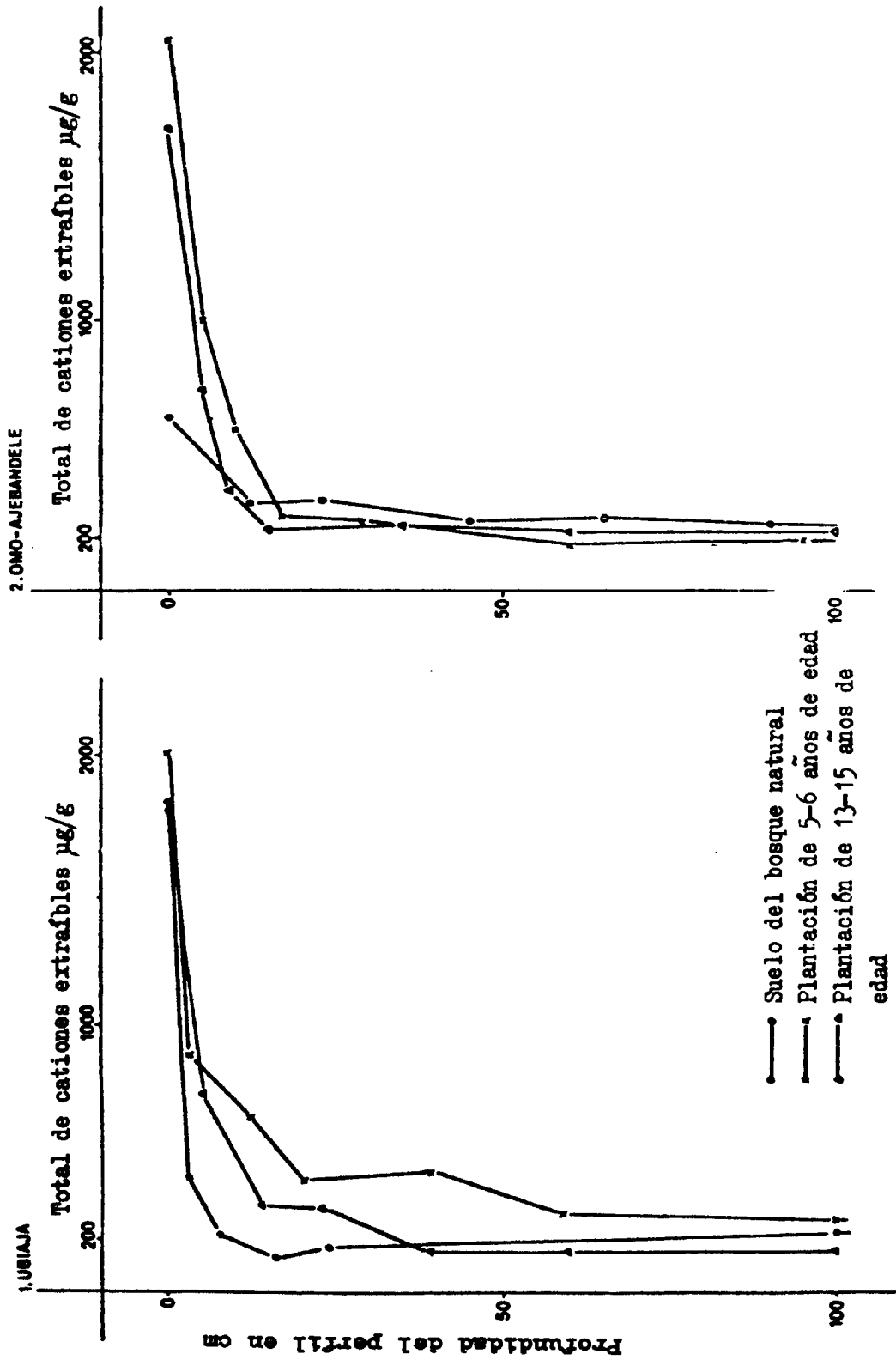


FIGURA A9: DISTRIBUCION DEL NH OAC TOTAL DE CATIONES EXTRAIBLES (Ca, Mg, K, Na) SOBRE EL ESPESOR DE LOS PERFILES: NIGERIA

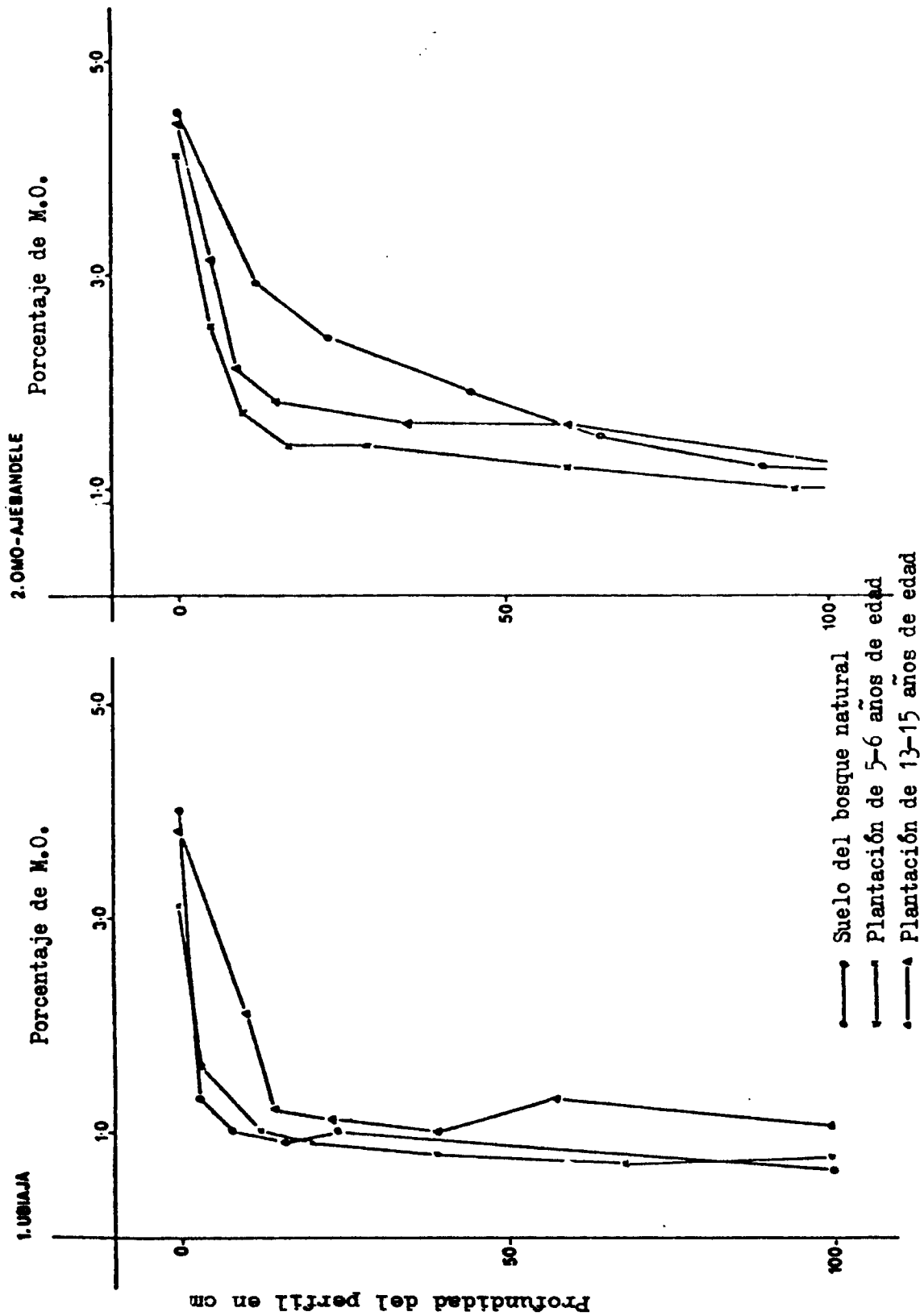


FIGURA A10: DISTRIBUCION DE LA MATERIA ORGANICA : NIGERIA



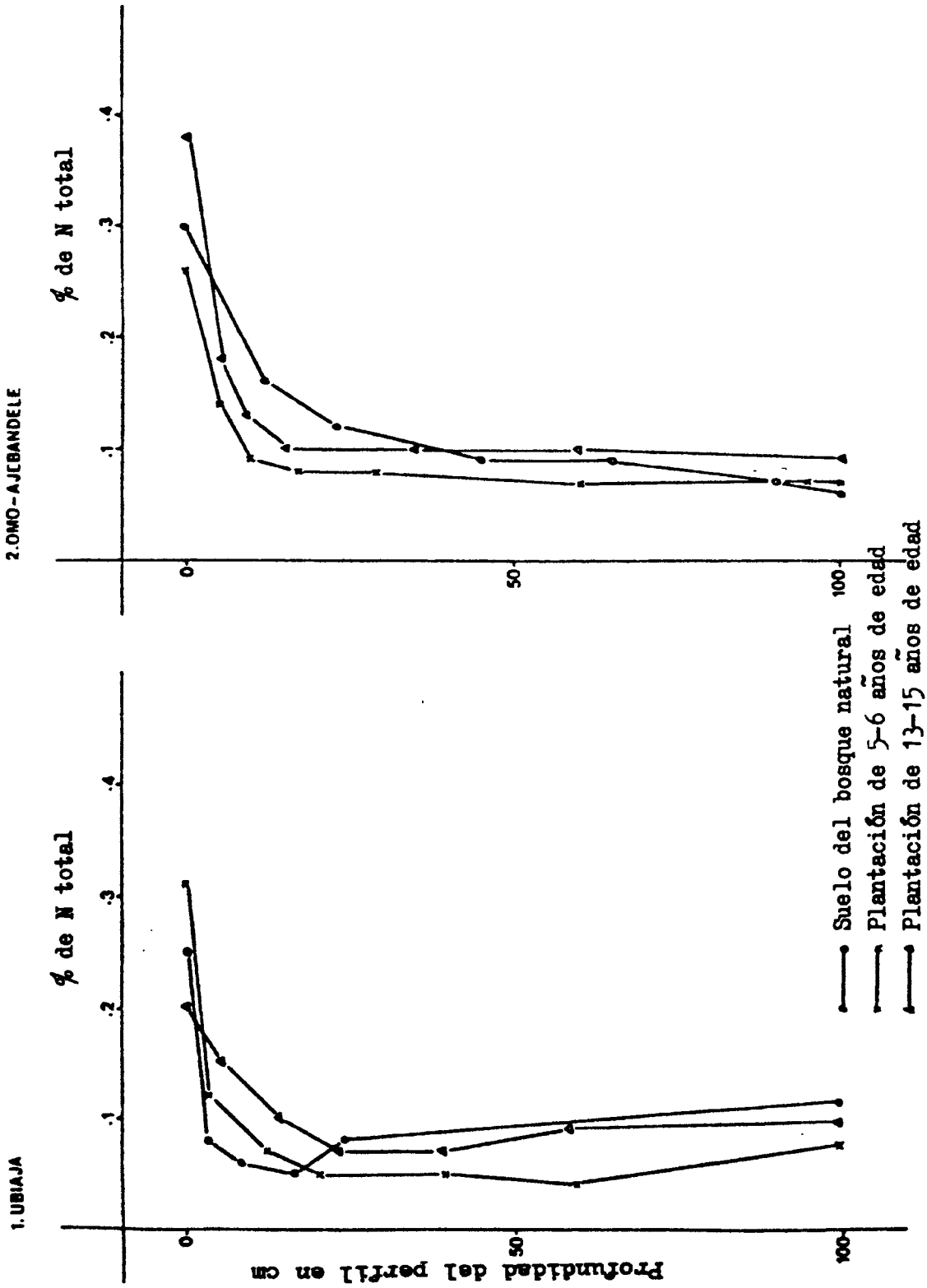


FIGURA A11: DISTRIBUCION DEL NITROGENO (% del total): NIGERIA

FIGURA A12: TENDENCIA DEL pH DEL SUELO CON LA EDAD: OMO-AJEBANDELE

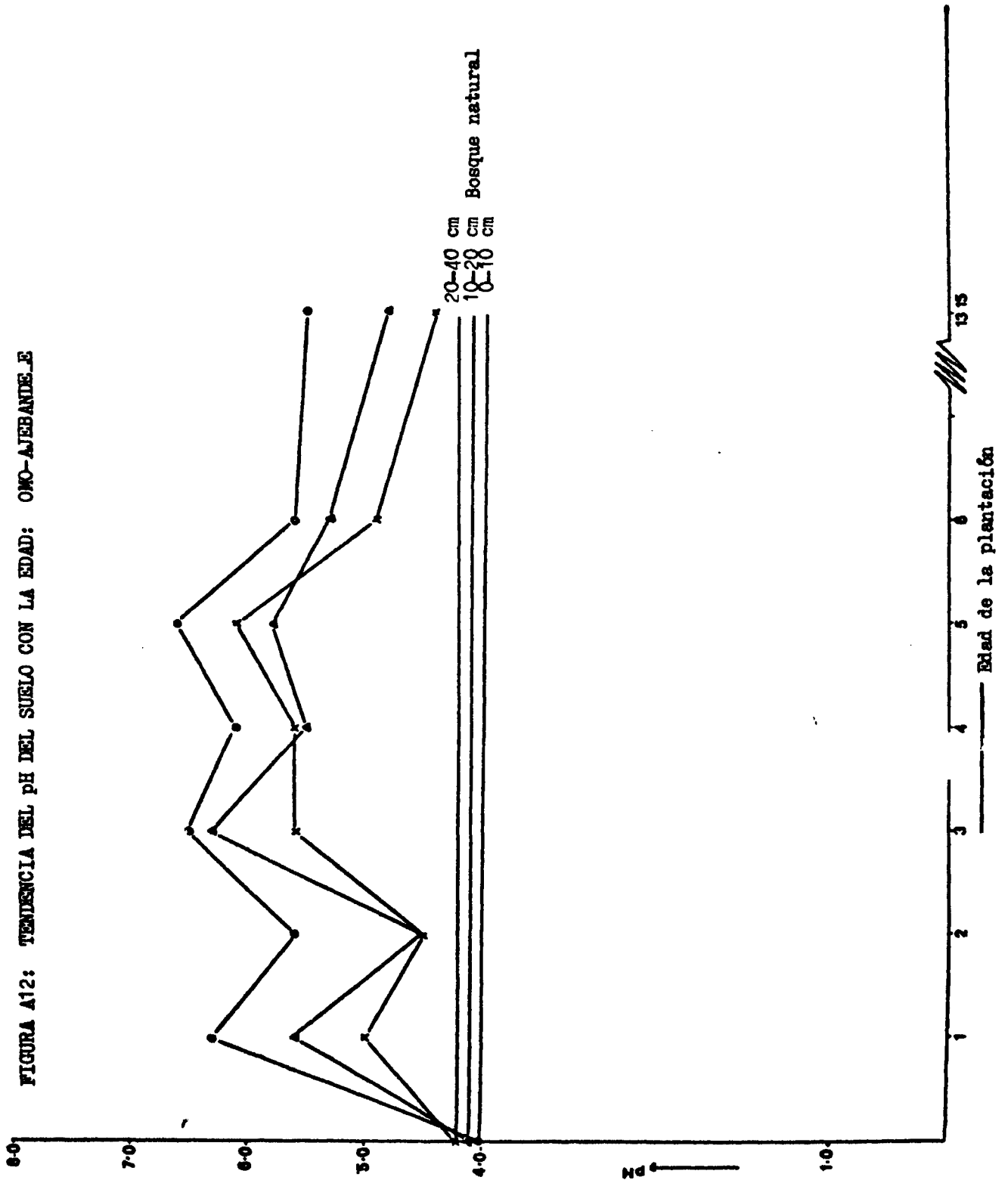


FIGURA A13: TENDENCIA EN EL CONTENIDO DE CATIONES EXTRAIBLES EN FUNCION DE LA EDAD DE LAS PLANTACIONES: ONO-AJEBANDELE

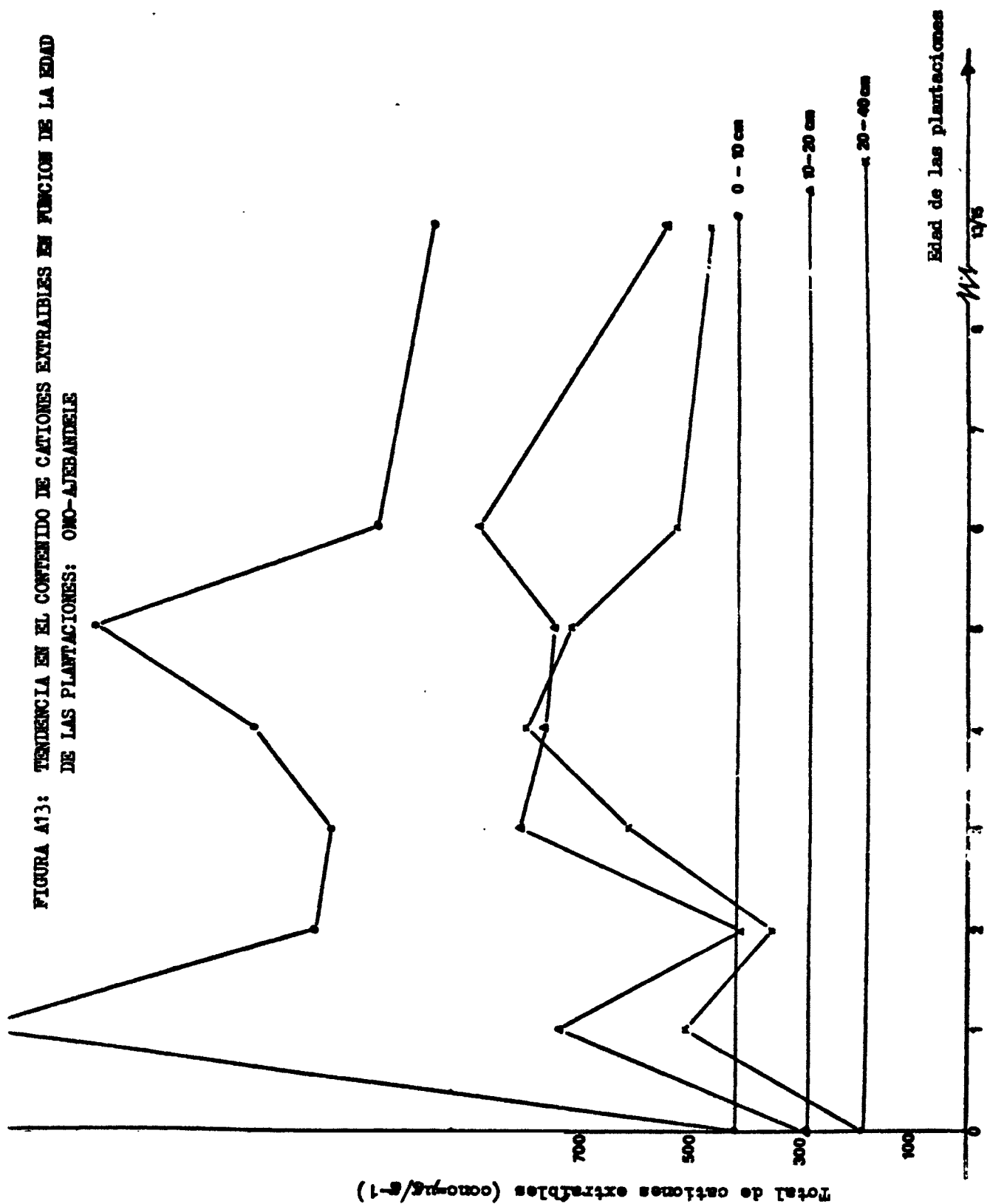


FIGURA A14:

TENDENCIA DE LA CONCENTRACION DE P ASIMILABLE EN FUNCION DE LA EDAD:  
OMO-AJERANDELE

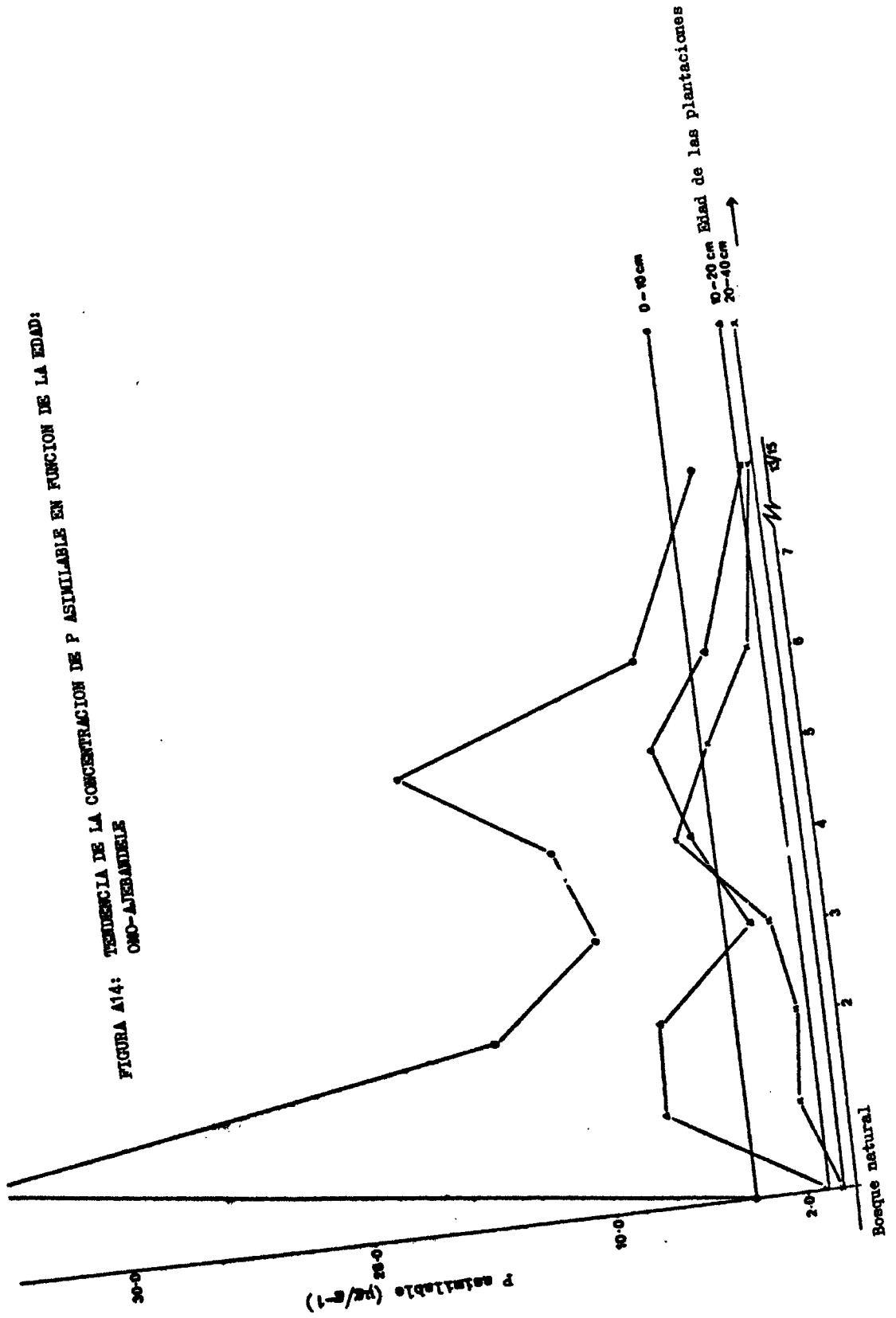


FIGURA A15: TENDENCIA DEL PORCENTAJE DE CARBON ORGANICO EN FUNCION DE LA EDAD: OMO-AJEBANDELE

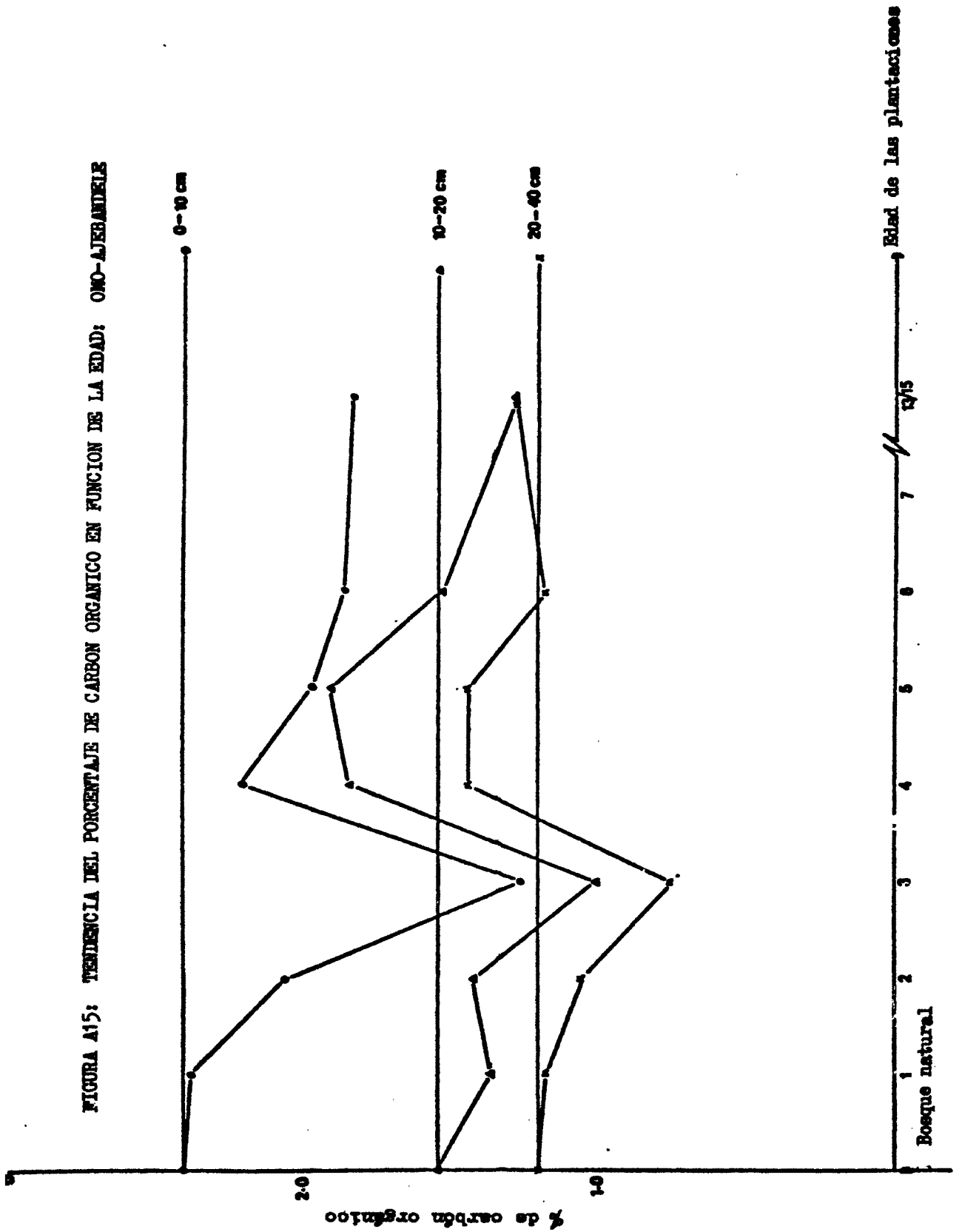


FIGURA A16: TENDENCIA DEL PORCENTAJE DE N TOTAL EN FUNCION DE LA EDAD: OMO-AJEBANDELE

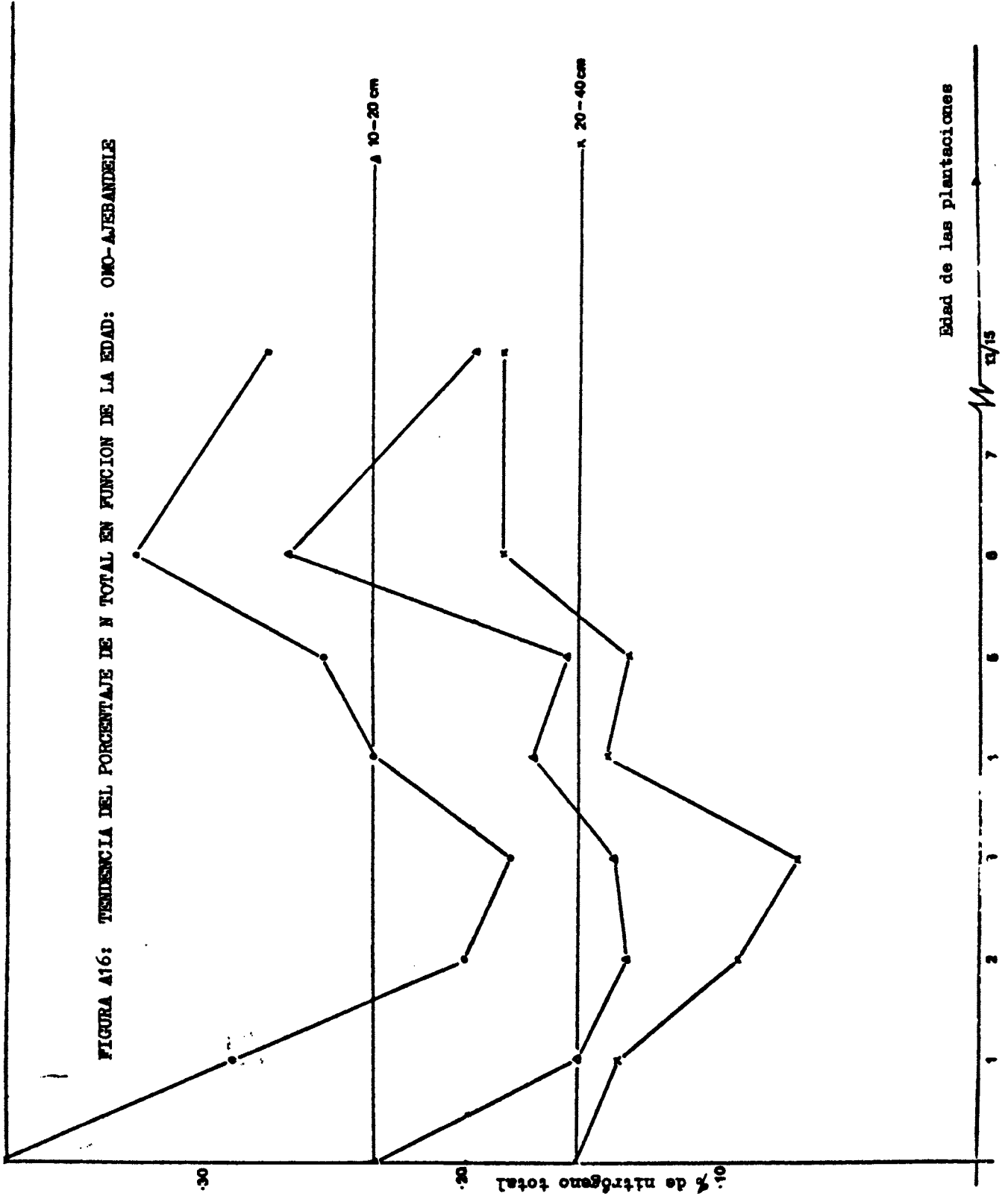


FIGURA A17: TENDENCIA DE LA CONCENTRACION DE K EXTRAIBLE POR  $\text{NH}_4\text{OAc}$  EN FUNCION DE LA EDAD EN LAS PLANTACIONES: OMO-AJERANDELE

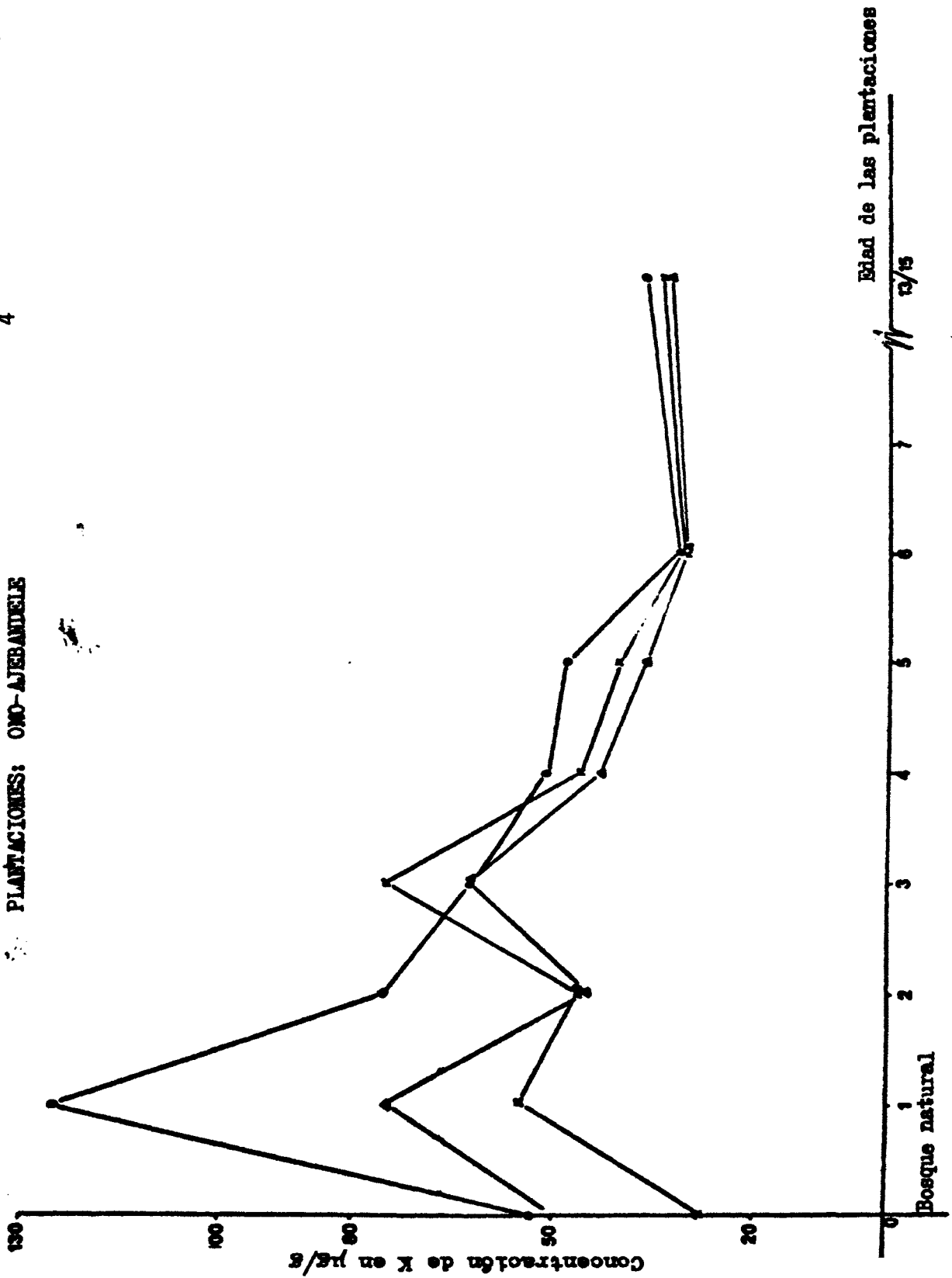


FIGURA A18: UBIAJA : PLANTACION DE GUELINA ARBOREA DE 5-6 AÑOS DE EDAD

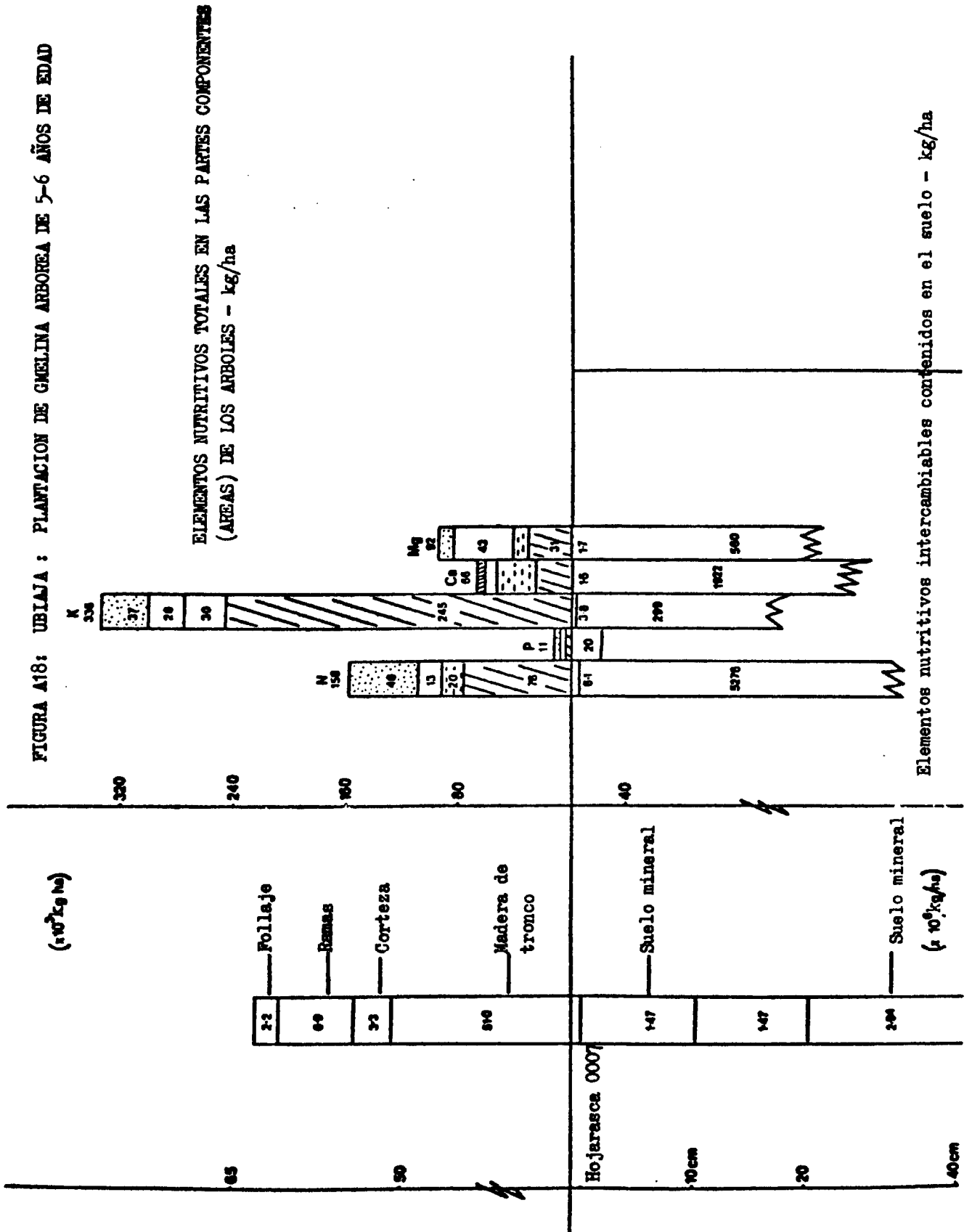
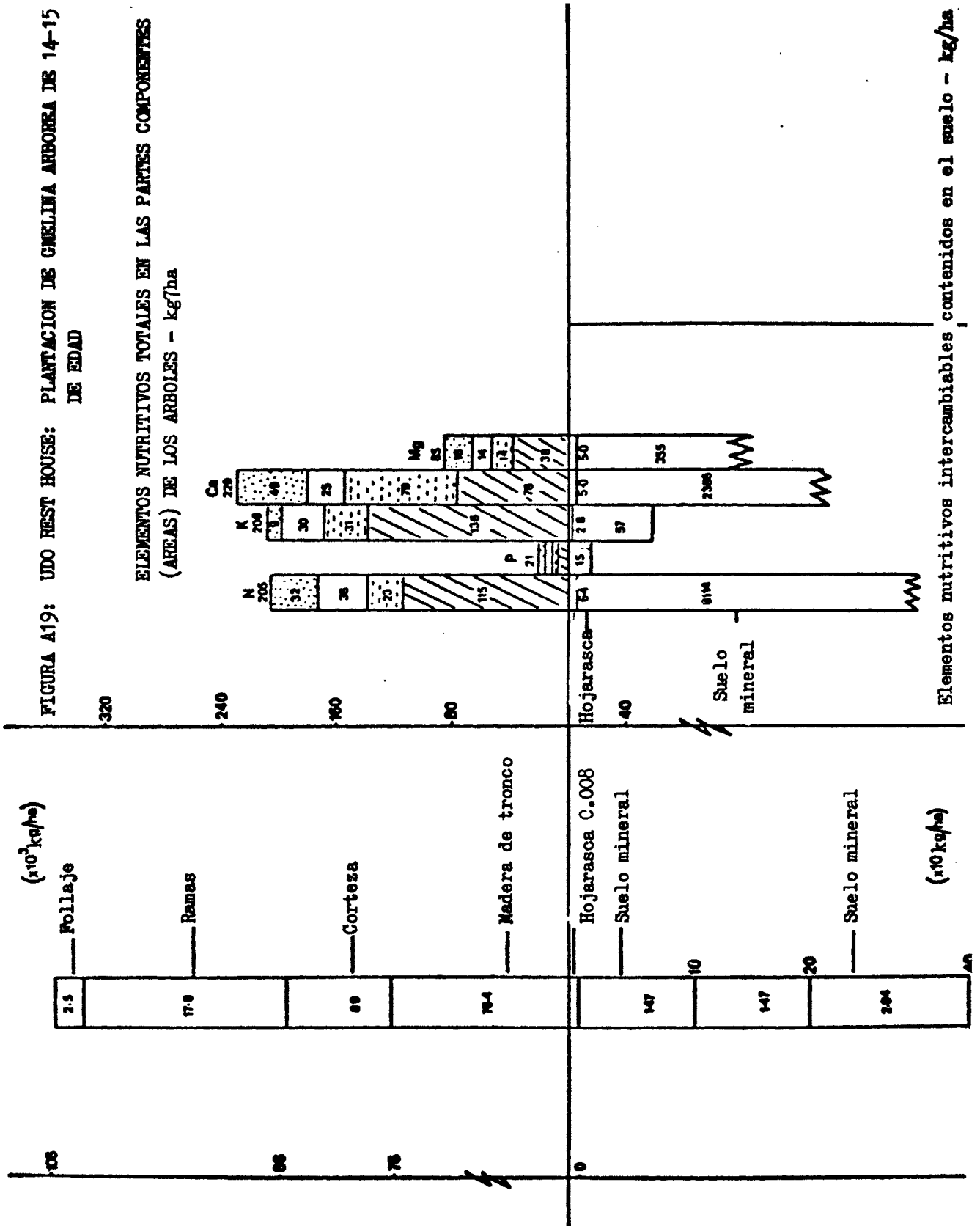




FIGURA A19: UDO REST HOUSE: PLANTACION DE GUELINA ARBOREA DE 14-15 AÑOS DE EDAD

ELEMENTOS NUTRITIVOS TOTALES EN LAS PARTES COMPONENTES (AREAS) DE LOS ARBOLES - kg/ha



Elementos nutritivos intercambiables contenidos en el suelo - kg/ha

FIGURA 120: ONO-AJESBANDELE: PLANTACION DE GUELINA ARBOREA DE 5-6 AÑOS DE EDAD

ELEMENTOS NUTRITIVOS TOTALES EN LAS PARTES COMPONENTES (AREAS) DE LOS ARBOLES - kg/ha

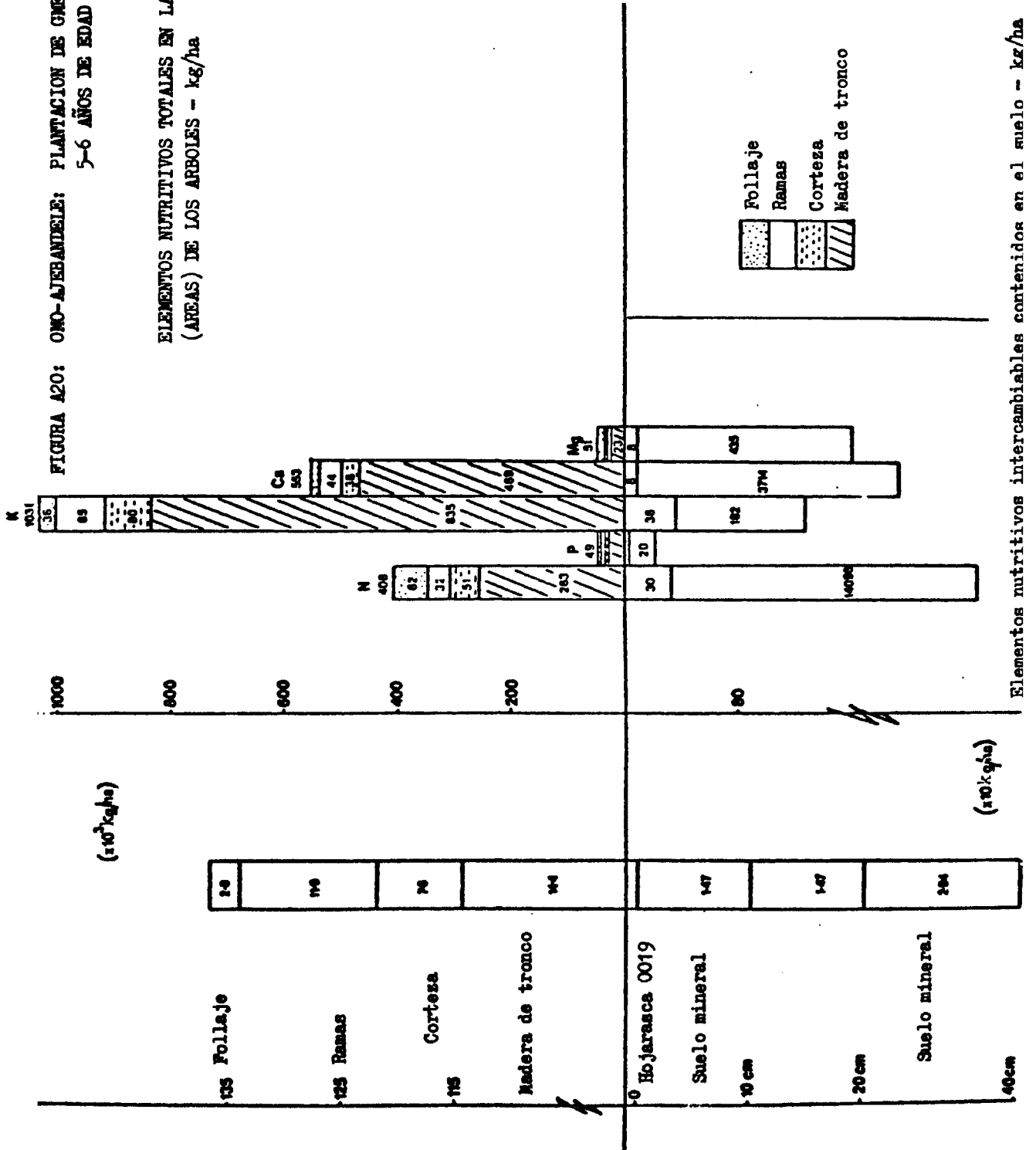


FIGURA A21: OMO-AJEBAÑELES: PLANTACION DE GUELINA ARBorea DE 12-13 AÑOS DE EDAD

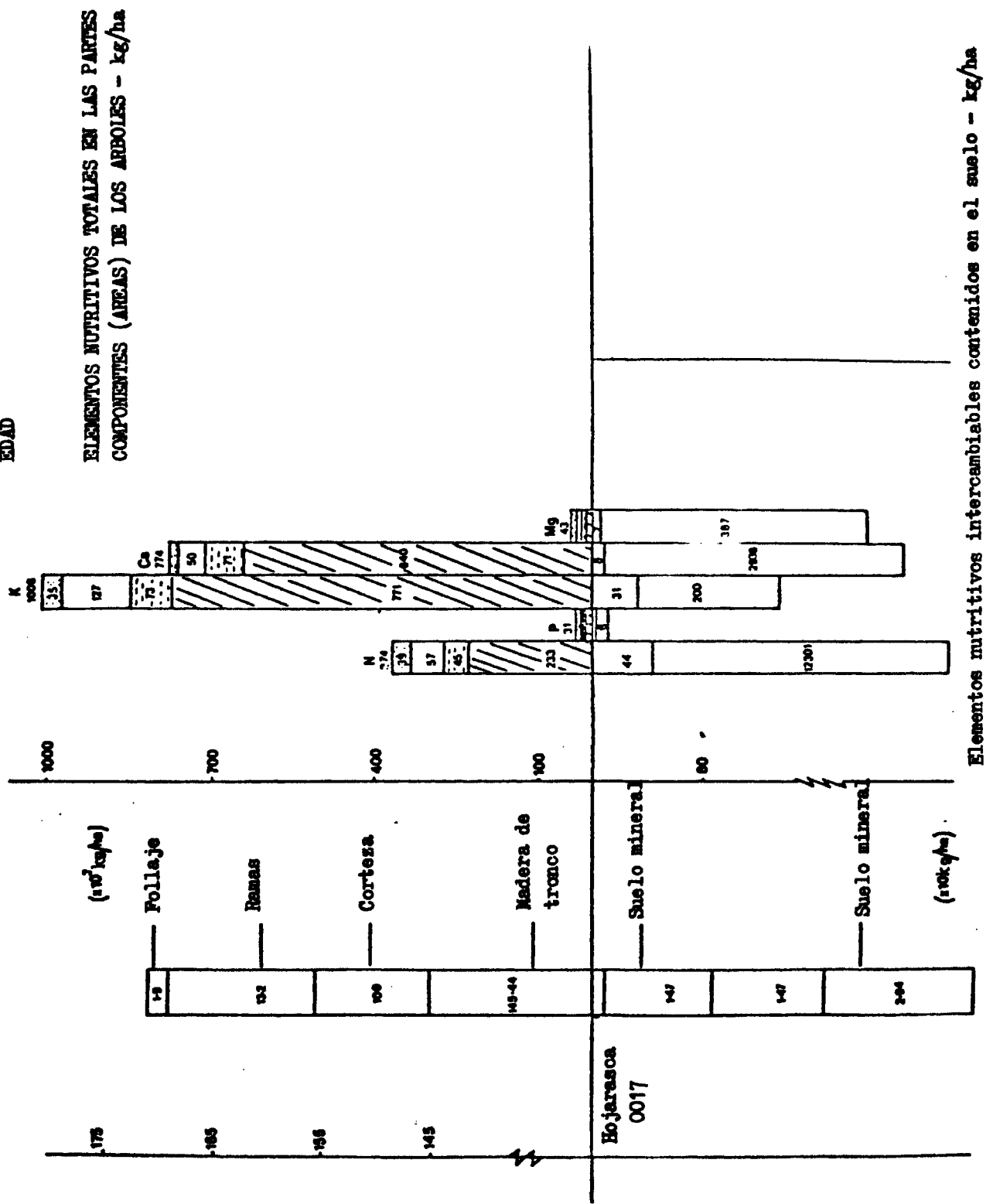


FIGURA A22: PACAVARI: PLANTACION DE GUELINA ARBOREA DE 5-6 AÑOS DE EDAD

ELEMENTOS NUTRITIVOS TOTALES EN LAS PARTES COMPONENTES (AREAS) DE LOS ARBOLES - kg/ha

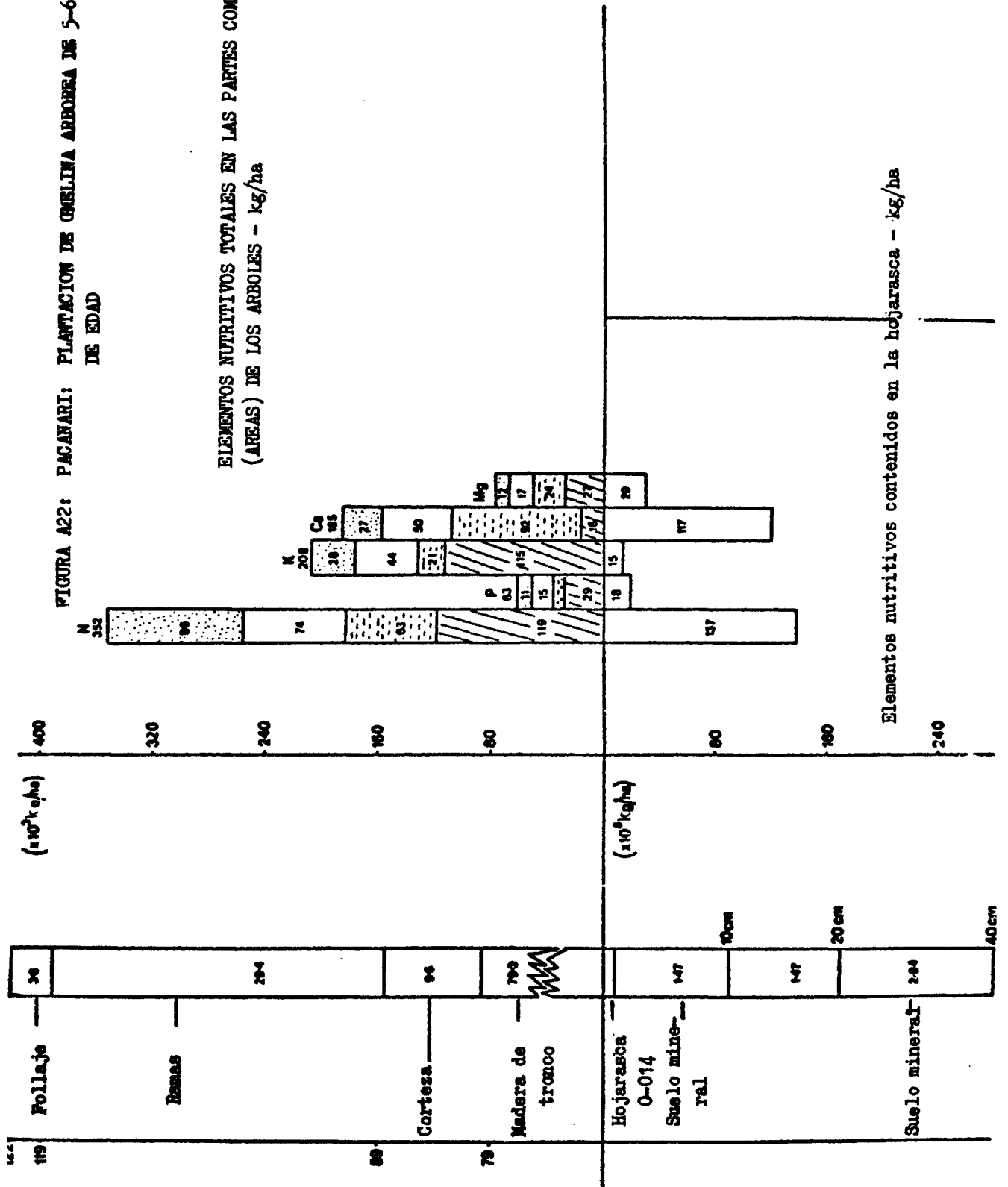
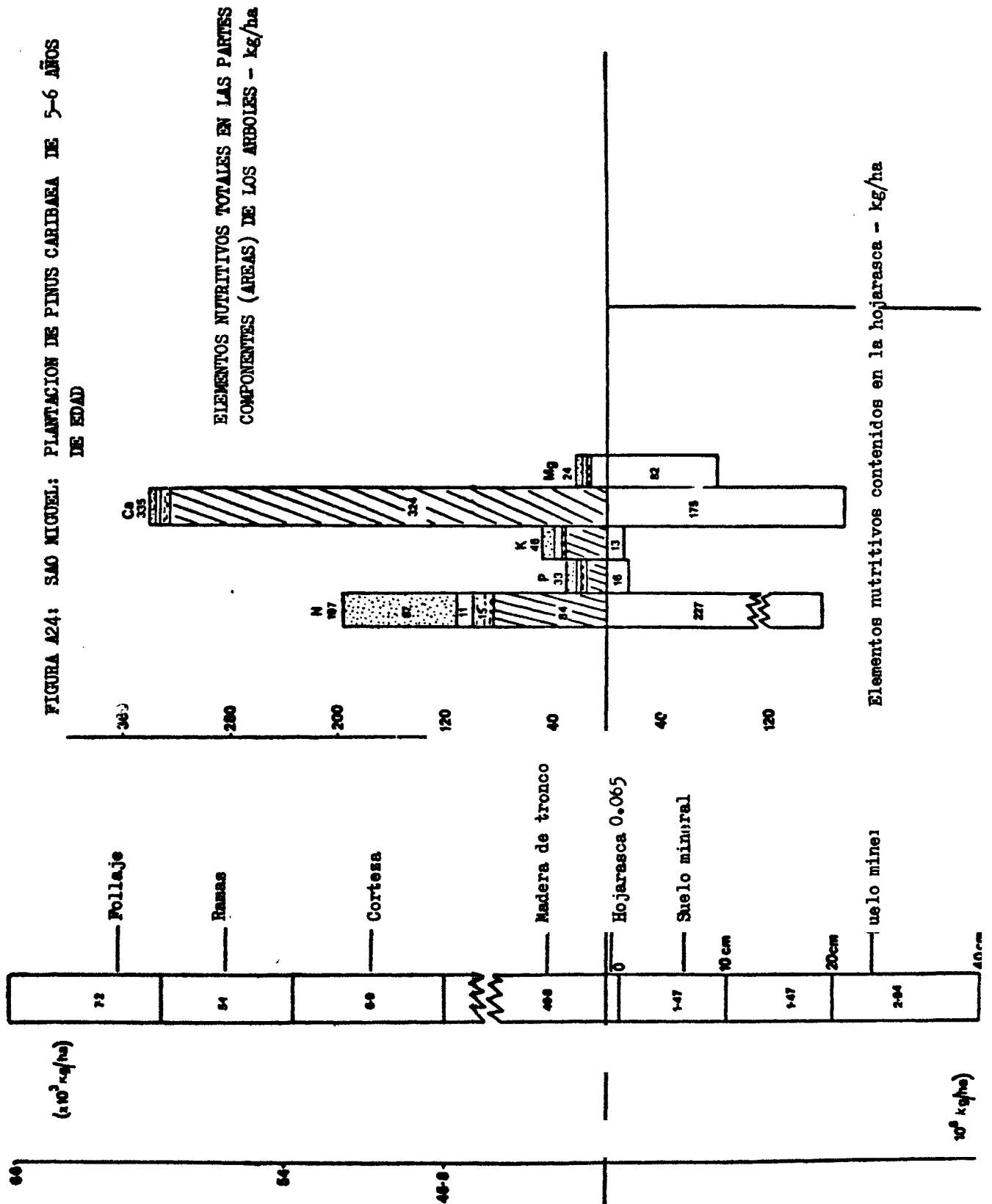




FIGURA 124: SÃO MIGUEL: PLANTACION DE PINUS CARIBAEA DE 5-6 AÑOS DE EDAD



# CUADERNOS TECNICOS DE LA FAO

## ESTUDIOS FAO: MONTES

1. Manual sobre contratos de aprovechamiento de bosques en tierras públicas, 1977 (E\* F\* I\*)
2. Planificación de carreteras forestales y sistemas de aprovechamiento, 1976 (E\* F\* I\*)
3. Lista mundial de escuelas forestales, 1977 (E/F/I\*)
- 3 Rev. 1 - Lista mundial de escuelas forestales, 1981 (E/F/I\*)
4. La demanda, la oferta y el comercio de pasta y papel en el mundo  
Vol. 1, 1977 (E\* F\* I\*)  
Vol. 2, 1978 (E\* F\* I\*)
5. La comercialización de las maderas tropicales en América del Sur, 1978 (E\* I\*)
6. National parks planning, 1978 (E\*\*\* F\* I\*)
7. Actividades forestales en el desarrollo de comunidades locales, 1978 (E\* F\* I\*)
8. Técnica de establecimiento de plantaciones forestales, 1978 (A\*\*\* C\* E\*\* F\* I\*)
9. Las astillas de madera: su producción y transporte, 1978 (C\* E\* I\*)
10. Evaluación de los costos de extracción a partir de inventarios forestales en los trópicos, 1979  
1. - Principios y metodología (E\* F\* I\*)  
2. - Recolección de datos y cálculos (E\* F\* I\*)
11. Savanna afforestation in Africa, 1978 (F\* I\*)
12. China: forestry support for agriculture, 1978 (I\*)
13. Precios de productos forestales, 1979 (E/F/I\*)
14. Mountain forest roads and harvesting, 1979 (I\*)
15. AGRIS forestal: catálogo mundial de los servicios de información y documentación, 1979 (E/F/I\*)
16. China: integrated wood processing industries, 1979 (E\*\*\* F\* I\*)
17. Análisis económico de proyectos forestales, 1979 (E\* F\* I\*)
- 17 Sup. 1 - Análisis económico de proyectos forestales: estudios monográficos, 1981 (E\* I\*)
- 17 Sup. 2 - Economic analysis of forestry projects: readings, 1980 (I\*)
18. Precios de productos forestales 1960-1978, 1979 (E/F/I\*)
19. Pulper and paper-making properties of fast growing plantation wood species  
Vol. 1, 1980 (I\*\*\*\*)  
Vol. 2, 1980 (I\*\*\*\*)
20. Mejora genética de árboles forestales, 1980 (E\*)
21. Suelos de las regiones tropicales húmedas de tierras bajas - efectos causados por las especies de crecimiento rápido, 1984 (E\* F\* I\*)
- 22/1. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento  
Vol. 1 - Estimación del volumen, 1980 (E\* F\* I\*)
- 22/2. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento  
Vol. 2 - Predicción del rendimiento, 1980 (E\* F\* I\*)
23. Precios de productos forestales 1961-1980, 1981 (E/F/I\*)
24. Cable logging systems, 1981 (I\*)
25. Public forestry administration in Latin America, 1981 (I\*)
26. La silvicultura y el desarrollo rural, 1981 (E\* F\* I\*)
27. Manual of forest inventory, 1981 (F\* I\*)
28. Aserraderos pequeños y medianos en los países en desarrollo, 1982 (E\* I\*)
29. Productos forestales: oferta y demanda mundial 1990 y 2000, 1982 (E\* I\*)
30. Los recursos forestales tropicales, 1982 (E/F/I\*)
31. Appropriate technology in forestry, 1982 (I\*)
32. Clasificación y definiciones de los productos forestales, 1982 (A/E/F/I\*)
33. La explotación maderera de bosques de montaña, 1984 (E\* I\*)
34. Especies frutales forestales, 1982 (E\* F\* I\*)
35. Forestry in China, 1982 (I\*)
36. Tecnología básica en operaciones forestales, 1983 (E\* F\* I\*)
37. Conservación y desarrollo de los recursos forestales tropicales, 1983 (E\* I\*)
38. Precios de productos forestales 1962-1981, 1982 (E/F/I\*)
39. Frame saw manual, 1982 (I\*)
40. Circular saw manual, 1983 (I\*)
41. Métodos simples para fabricar carbón vegetal, 1983 (E\* F\* I\*)
42. Disponibilidades de leña en los países en desarrollo, 1983 (E\* F\* I\*)
43. Forest revenue systems in developing countries, 1983 (I\*)
- 44/1. Especies forestales productoras de frutas y otros alimentos, 1984 (E\* I\*)
45. Establishing pulp and paper mills, 1983 (I\*)
46. Precios de productos forestales 1963-1982, 1983 (E/F/I\*)
47. Technical forestry education-design and implementation, 1984 (I\*)
48. Land evaluation for forestry, 1984 (I\*)
49. Extracción de trozas mediante bueyes y tractores agrícolas, 1984 (E\*)
50. Changes in shifting cultivation in Africa, 1984 (F\* I\*)
- 51/1. Etudes sur les volumes et la productivité des peuplements forestiers tropicaux  
1: Formations forestières sèches, 1984 (F\*)

**ESTUDIOS FAO: PRODUCCION Y PROTECCION VEGETAL:** 59 títulos publicados

**ESTUDIOS FAO: PRODUCCION Y SANIDAD ANIMAL:** 47 títulos publicados

**ESTUDIOS FAO: ALIMENTACION Y NUTRICION:** 31 títulos publicados

**GUIAS FAO: CONSERVACION DE SUELOS:** 9 títulos publicados

**ESTUDIOS FAO: RIEGO Y DRENAJE:** 41 títulos publicados

**BOLETINES DE SERVICIOS AGRICOLAS DE LA FAO:** 60 títulos publicados

**BOLETINES DE SUELOS DE LA FAO:** 54 títulos publicados

Disponibilidad: Diciembre de 1984

A - Arabe	* Disponible
C - Chino	** Agotado
E - Español	*** En preparación
F - Francés	
I - Inglés	

M-33

ISBN 92-5-300972-1

Los Cuadernos Técnicos de la FAO pueden obtenerse en los puntos de venta autorizados de la FAO, o directamente en la Sección de Distribución y Ventas, FAO Via delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.