

1102-1000
18

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
CATIE

PROGRAMA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

/ALGUNAS CONSECUENCIAS DE LA REMOCIÓN DEL
BOSQUE SOBRE EL SUELO Y EL CICLO DE
NUTRIMENTOS EN REGIONES TROPICALES ^{1/}

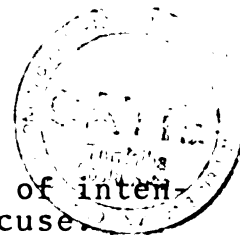
Por: G. De las Salas^{2/}

1. Consideraciones generales

El reemplazo del bosque húmedo tropical por plantaciones forestales de rápido crecimiento como pino y eucalipto, está casi siempre asociado con el deterioro de las condiciones físicas y químicas del suelo. (LUNDGREN, 1978 con numerosa literatura relevante; von CHRISTEN y DE LAS SALAS, 1978). El mismo fenómeno se ha comprobado cuando se reemplaza el bosque natural por ganadería extensiva (NYE & GREENLAND, 1964; JAIYEBO & MOORE, 1964; DE LAS SALAS, 1972, DE LAS SALAS & FOLSTER, 1976) y no se practica ningún método de manejo. Esto es lo que sucede generalmente en el proceso conocido como agricultura migratoria. Este sistema de uso de la tierra está muy extendido en los trópicos húmedos y está también extensamente documentado (ver por ejemplo, LUNDGREN, 1968, SANCHEZ, 1977, NYE & BREENLAND, 1960), por lo que una discusión sobre el mismo está fuera de los objetivos de estos comentarios.

^{1/} Contribución presentada al Simposio sobre "impact of intensive harvesting on forest nutrient cycling. Syracuse, State University of New York. College of environmental science and forestry. Agosto 13-17. 1979.

^{2/} Especialista en Suelos Forestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Turrialba, Costa Rica.



Hay dos hechos relevantes que es necesario contemplar: 1) los fundamentos ecológicos del por qué ocurren cambios en el suelo cuando un tipo de vegetación o un sistema de uso de la tierra es reemplazado por otro; 2) la implementación de proyectos tendientes a cambiar el uso tradicional de la tierra cubierta de bosque natural con técnicas de manejo de suelo que sean capaces de aumentar su productividad. De este segundo hecho el autor conoce solo unos pocos casos en América tropical, pero lo suficientemente representativos para servir de marco de referencia de estas notas. En la Amazonia peruana por ejemplo, SANCHEZ (1977) informa sobre el notable mejoramiento de los sistemas de producción agrícola y pecuaria en las regiones de Yurimaguas y Pucallpa respectivamente. Para aumentar la producción agropecuaria en suelos Ultisoles, se ensayaron métodos de desmonte con Bulldozer y se aplicaron 3 niveles de fertilización.

En Brasil, en el Río Yari (Amazonas), se ha tumbado el bosque tropical heterogéneo de colinas bajas para establecer extensas plantaciones de Gmelina arborea y Pinus caribaea. Briscoe (1978), reporta 65.000 hectáreas de Gmelina y 34.000 hectáreas de pino plantadas hasta 1979 sobre suelos oxisoles sin fertilización. Los resultados han sido hasta el momento halagadores (27 a 38 m³/ha/año). La remoción del bosque se practica como sigue: Después de explotar, se deja el bosque de uno a tres años para que se restablezca la cobertura vegetal. El uso de maquinaria pesada para la explotación, fue abandonado por los daños causados al suelo y los altos costos.

En Surinam, se establecen plantaciones semicompactas de Cordia alliodora y Cedrela angustifolia después de la quema del bosque nativo. La introducción de estas especies al comienzo de este decenio y su buen comportamiento hasta la fecha, abre nuevas esperanzas para la conversión económica de bosques naturales en plantaciones altamente productivas.

Para volver al primer punto sobre los conceptos ecológicos fundamentales que deben contestar el interrogante de por qué ocurren cambios en el suelo con un cambio en el uso de la tierra, aunque parezca elemental, es apropiado recordar las interrelaciones más importantes entre el suelo y la vegetación. La figura 1 representa estas interrelaciones, válidas para cualquier ecosistema vegetal. Cualquier tipo de vegetación o cosecha obtiene del suelo su suplemento necesario de agua, nutrimentos y oxígeno así como soporte físico. A la vez, la vegetación influye sobre el suelo según el aporte de hojarasca caída y posteriormente descompuesta. Esta descomposición conduce a la formación de humus, cuya cantidad depende de la temperatura y de la altura sobre el nivel del mar. La figura 2 muestra en forma general, los contenidos de humus en los primeros 20 centímetros y las curvas de producción y descomposición de materia orgánica. El microclima creado por la vegetación particular que crece sobre un sitio, es el resultado de la actividad de los organismos descomponedores asociados a esta vegetación. Finalmente, el sistema radicular ejerce una influencia tanto química como física sobre el suelo.

Cualquier cambio natural o artificial de la vegetación influirá por consiguiente en el suelo y eventualmente en sus funciones como aportante de agua y nutrientes.

2. Cambios en el suelo y en el ciclo de nutrimentos

2.1. La economía de nutrimentos en el bosque

2.1.1. Caducifolia.

En suelos con cantidades mínimas de minerales meteorizables, típicos de la zona tropical húmeda, la reserva del bosque con elementos nutritivos depende en primer lugar de la circulación entre el bosque y el suelo a través de la caída del follaje. En la bajura tropical el proceso de la mineralización de las hojas ocurre rápidamente debido a las altas temperaturas. Por lo tanto, el suministro de nutrimentos del bosque está asegurado, a pesar de la pobreza del suelo.

Las condiciones son menos favorables en las zonas altas como muestran las acumulaciones superficiales de materia orgánica semidescompuesta.

El bajo contenido en bioelementos observado en las hojas verdes y en la hojarasca fresca en las montañas tropicales húmedas indica a menudo un suministro inadecuado de nutrientes al bosque (GRUBB, 1977, citado por von CHRISTEN, 1978). En el cuadro 1, se observa que los valores son más bajos, aún para el sitio con "mull" en dos bosques naturales, que en un rodal de haya o de picea en suelos pobres en Alemania.

Es notable especialmente la alta proporción de nitrógeno y fósforo retirados de las hojas antes de su caída en el bosque tropical en sitios de "moder". Este ciclo interno del árbol es considerado generalmente como indicador de una baja fertilidad del suelo.

Para estudiar los ciclos de los elementos nutritivos en los ecosistemas, se analizan los procesos de transferencia dentro de los compartimentos que conforman estos ecosistemas. Interesan por lo tanto como medios de transporte, el agua (lluvia, lavado foliar, escurrimiento por el tronco, escorrentía superficial, drenaje e infiltración) y la hojarasca (producción de restos vegetales, descomposición y liberación de elementos nutritivos) (ver fig. 1.).

La producción de hojarasca ha sido medida por varios autores. El cuadro 2 trae valores para 18 sitios evaluados en Africa (Congo, Costa de Oro, Ghana), Australia (Queensland), China, Colombia, Brasil, Panamá y Venezuela. La transferencia de biomasa de la vegetación al suelo, varía de 5,8 a 15,3 t/ha/año y con ella se transfieren los siguientes contenidos de nutrimentos (kg/ha/año): N 57 a 225; P 2 a 13; K 13 a 129; Ca 18 a 240; y Mg 12 a 53.

Si se compara la producción de hojarasca de bosques naturales tropicales con la de plantaciones forestales comerciales, puede generalizarse que ésta última es cerca de 2 - 2.5 toneladas (aprox. 25%) más baja por hectárea y año en promedio (LUNDGREN, 1978). Esto no es sorprendente si se tiene en cuenta que la mayoría de las plantaciones jóvenes poseen altos incrementos en biomasa.

Para evaluar completamente la economía de los nutrimentos en el bosque, es importante conocer el inventario de los elementos nutritivos también en la capa de humus y en el suelo mineral. El cuadro 3 representa la participación en la reserva de nutrimentos, de la vegetación, del litter y del suelo mineral en varios ecosistemas tropicales (Africa, Brasil, Panamá, Colombia, Nueva Guinea) y un ecosistema montano (Venezuela).. Estos valores indican la gran variabilidad de la distribución del capital nutritivo entre los tres componentes de estos ecosistemas.

2.1.2. Inmovilización de los Nutrientes

La acumulación alta de humus bajo los bosques tropicales de montaña causa una enorme inmovilización de nutrientes. Según el tipo de humus y la cantidad de materia orgánica se pueden encontrar 9 y 7 toneladas de nitrógeno en el moder y mull respectivamente, por hectárea (Cuadro 4)† En comparación con estos valores el humus bruto de un rodal maduro de Pinus patula en Suráfrica inmoviliza cantidades relativamente pequeñas. Sin embargo, éstas cantidades aparecen más impresionantes si se comparan con la cifra de los elementos almacenados en la biomasa de un rodal de pino. El nitrógeno inmovilizado en el humus bruto corresponde al 86% del mismo elemento en la biomasa del bosque. (Cuadro 4).

Después de la tala rasa, la mayor parte de los nutrientes del humus bruto y del follaje del rodal talado se liberan espontáneamente a través de una descomposición acelerada, situación que ocurre en el altiplano de Sudáfrica con temperaturas promedias de 17°C durante la época de lluvia. En Colombia, corresponde ésta temperatura a una

altura de 2.100 m.s.n.m., aproximadamente. Las pérdidas de los nutrientes por lixiviación, pueden llegar a serias proporciones, si no preexistió una vegetación menor, y especialmente, si se quemó el desperdicio de la tumba (von CHRISTEN, 1978).

Las pérdidas de los bioelementos por la cosecha de madera no parecen muy grandes, si se comparan con la mayoría de las cosechas agrícolas, pero, en realidad son significativas para suelos de baja fertilidad. Las pérdidas corresponden a un porcentaje de los elementos reciclados anualmente a través de la caída del follaje (N=17%, P=33%, K=31%, Ca=30%), (Cuadro 4).

2.2. Cambios en el suelo

En las montañas tropicales se ha reforestado con coníferas especialmente en el Este de Africa y en Java. En las Filipinas también se reforestó intensivamente sobre suelos degradados por la agricultura pero gran parte de las plantaciones se perdió a causa de las quemas incontroladas. Como las plantaciones generalmente reemplazaron los pastizales de baja calidad, la reforestación tuvo un efecto positivo en la regulación de los caudales (von CHRISTEN, 1978).

Para sintetizar los posibles cambios que ocurren en el suelo a través del reemplazo de la vegetación natural por plantaciones, se ha tomado como base la figura 3. Esta figura representa una secuencia en el tiempo desde el bosque natural hasta la segunda rotación de la plantación. Este esquema, tomado de LUNDGREN (1978), ha tenido en cuenta la variación de tres importantes propiedades del suelo (materia orgánica, nutrimentos minerales, densidad aparente) con el tiempo a través de las siguientes fases: bosque primario \longrightarrow tumba + quema \longrightarrow

barbecho → cultivo de plántulas, → máxima producción →
corte y extracción → segunda rotación. El autor de este esquema advierte que los valores de partida para materia orgánica del suelo superficial, contenido de nutrimentos y densidad aparente, son sólo relativos. La materia orgánica por ejemplo, puede ser considerablemente menor en suelos arenosos bajo bosque en las bajuras (p.e. Surinam) que bajo cultivo en las montañas tropicales. Sin embargo, en habitats definidos, los suelos forestales son casi siempre más ricos en materia orgánica que los suelos bajo otras formas de uso de la tierra. Lo mismo puede aplicarse para la densidad aparente. Es más difícil generalizar sobre el status de nutrimentos porque éstos obedecen a diferentes reacciones y sus interacciones son complicadas.

Los cambios registrados o que se presume ocurren en el suelo a través de las diferentes fases de vegetación ilustradas en la figura 3 han sido discutidos ampliamente por LUNDGREN, (1978) en su estudio con una buena base documental. Las cuatro primeras fases mencionadas se conocen suficientemente y existe una amplia literatura al respecto (vea por ejemplo: NYE and GREENLAND, 1960 y 1964; GREENLAND y LAL, 1977; SANCHEZ, 1976; WATTERS, 1971). Solamente quisiera destacar algunos puntos que parecen relevantes en las fases de producción y tumba-extracción. Los rodales maduros generalmente están caracterizados por:

- Una ausencia más o menos completa de vegetación rastrera;
- Una baja actividad de descomponedores de la hojarasca con la

consecuente formación de capas de humus (humus bruto, moder); por consiguiente una enorme inmovilización de nutrientes;

- Una demanda rápida y continuada de nutrientes disponibles del suelo superior;
- Una disminución en la materia orgánica;
- Un descenso en la porosidad debido probablemente a una baja actividad biológica;
- Un descenso en el nivel de nutrientes del suelo entendido como ganancia para la planta;
- Una reducción en la capacidad de retención de nutrientes causada probablemente por un descenso en la materia orgánica. En el trópico húmedo este "lavado" juega un papel importante en zonas de alta precipitación.

2.3. La circulación de nutrientes en plantaciones

El almacenamiento y la recirculación de nutrientes en ecosistemas naturales se trató someramente en las páginas anteriores. Para comparación, vale la pena hacer referencia al ciclo de los elementos nutritivos en plantaciones. Para tal efecto, se prefirió tomar el único ejemplo de rodales de Pinus patula y Cupressus lusitanica en Tanzania, por considerarse representativo de grandes extensiones cubiertas con coníferas en regiones tropicales ecológicamente similares. El cuadro 5 resume las cifras de la circulación anual y total de nutrientes, el suministro y la remoción durante una rotación de 30 años, de pino y ciprés (LUNDGREN, 1978). El autor anota que la tabla se elaboró suponiendo tres generalizaciones: 1) El retorno de nutrientes por la hojarasca (punto 2 del cuadro se mantuvo cons-

tante durante la rotación, basado en las mediciones hechas en rodales de 18-20 años. Este hecho tal vez aumente algo los nutrientes aportados anualmente; 2) Los nutrientes retornados por las ramas y el follaje a través de la poda artificial en los rodales jóvenes, no se consideran; ésto conduce a una subestimación de los valores; 3) se supuso que el tronco se remueve totalmente en las operaciones de raleo y corta total. Estas tres generalizaciones no alteran la visión que se quiso dar. Las cifras más importantes del cuadro son las que muestran las remociones anuales y totales del ecosistema (puntos 8 y 9). Estos valores expresan la demanda nutricional de la cosecha de pino y ciprés en el sitio. Si estos valores se relacionan con los suelos, indicarán si el suministro de nutrientes del suelo es capaz de satisfacer las demandas de las plantaciones a corto o a largo plazo. Estos constituyen además datos básicos esenciales para programas de fertilización.

Por comparación con cifras correspondientes a los cultivos tropicales más comunes (SANCHEZ, 1976), puede concluirse tentativamente, que la remoción anual de nutrimentos de rodales de coníferas mediana a altamente productivas, no es mucho menor que para muchas cosechas agrícolas.

El ejemplo de los rodales de Tanzania permite pensar que hay pocos casos en los que altos rendimientos de cosechas agrícolas, especialmente aquellas que demandan fertilizantes, se hayan sostenido por largo tiempo sobre suelos lavados oxisoles de regiones de bosque húmedo tropical en comparación con árboles.

En la circulación de nutrimentos es importante evaluar el capital y la remoción de materia orgánica y nutrimentos de la hojarasca y del suelo durante una rotación. Para considerar este aspecto, se ha tomado otra vez el ejemplo de la plantación de coníferas en Tanzania (LUNDGREN, 1978). Las figuras 4, 5 y 6 han sido elaboradas por este autor. La figura 4 ofrece una representación esquemática de la formación simultánea de materia orgánica en la hojarasca y de la biomasa, así como del cambio en la materia orgánica del suelo. Las figuras 5 y 6 representan el cambio en la distribución de Fósforo y Potasio en la biomasa, la hojarasca y el suelo superior (0-10 cms) durante el período de rotación (30 años) de Pinus patula.

De la figura 4 puede inferirse claramente que la materia orgánica del suelo es mayor al final de la rotación (350 toneladas a los 30 años) que en el momento de la plantación. Solamente en los últimos 10 años, el incremento fue alrededor de 100 toneladas. Esta cantidad parece ser algo alta, pero bajo las condiciones ecológicas de Tanzania (similares a la altiplanicie del Cauca en Colombia), no es irreal. De otros datos complementarios de este estudio (LUNDGREN, 1978), se puede deducir, que de las 100 toneladas de materia orgánica adicionadas al suelo durante un lapso de 10 años, solo 10 toneladas se registraron aún al final del período. El resto desapareció vía respiración de consumidores o se incorporó al suelo en el proceso de humificación. Los cambios en los niveles del P para el suelo superior (0 - 10 cm) se relacionan con su suministro e inmovilización simultáneos en la biomasa y en la hojarasca (figura 5). Se registra un fuerte descenso inicial en el nivel de P disponible,

lo cual coincide con el rápido crecimiento de la plantación. La disminución en la reserva de P, de aproximadamente 500 kg/ha a 350 kg/ha, es responsable de la formación y remoción de 210 kg de P en la materia orgánica, 45 kg removidos en los raleos, 186 kg en la biomasa aérea a la edad de rotación, 26 kg en la biomasa radicular y 32 kg en la hojarasca. La remoción total de P, 130 kg, durante una rotación, representa sólo 1/3 de la reserva de P en el suelo superficial a la edad de rotación. Aún los muy bajos niveles de P, 15-20 kg/ha, en relación con el requerimiento medio anual de 13 kg (vea Cuadro 5), indica que el P puede ser un factor limitante del crecimiento. La alta fijación de P en andosoles (Typic Dystrandepsts) en la cordillera central de Colombia resultó un factor limitante del crecimiento de Cupressus lusitanica.

Para Potasio, la figura 6 es un diagrama simplificado que indica el cambio en su distribución a través de una rotación del rodal. El monto total del K removido en las trozas, raleos y aprovechamientos totales, es alrededor de 700 kg/ha, el cual es solo ligeramente inferior a la reserva total de Potasio en los primeros 50 cm. del suelo al tiempo del aprovechamiento. La habilidad del suelo para soportar otra rotación, al mismo ritmo de crecimiento, dependerá parcialmente de lo que suceda con los 750 kg de K removidos con la corta total y parcialmente del aporte anual de Potasio con la lluvia y como producto de la meteorización. Puede aceptarse que el nivel comparativamente alto de Potasio (500 kg) en relación con la demanda media anual de 78 kg, (cuadro 5) compensa el fuerte descenso que ha sufrido.

Para completar este enfoque sobre el ciclo de nutrimentos con el ejemplo de los rodales de coníferas de Tanzania, el Ca y el Mg merecen mención: El contenido total de Ca y Mg aprovechables en el suelo, es reportado por LUNDGREN (1978). Estos valores (7, 4 - 11, 3 t Ca/ha; 1,2 - 1,5 t Mg/ha) son muy altas en comparación con los requerimientos anuales (Cuadro 5). Este hecho podría explicar por qué las fluctuaciones de nutrimentos en el suelo no son relevantes para el crecimiento de plantaciones con altas tasas de incremento corriente.

3. Factores de sitio y productividad

3.1. Factores que influyen sobre el rendimiento de las plantaciones

Hay muchos factores que influyen directa o indirectamente sobre el rendimiento de las plantaciones forestales. La evolución de estos factores es más difícil mientras más parámetros se tomen en cuenta. Por consiguiente, es más razonable evaluar sólo aquellos factores que pueden inferirse indirectamente o son fácilmente medibles. Por ejemplo, la habilidad del suelo para soportar árboles en relación con el suministro de nutrimentos, agua y aire, es muy difícil de medir directamente pero puede deducirse de las propiedades físicas del suelo. Por consiguiente, en esta situación, en la cual se tiene escaso o ningún conocimiento empírico de las relaciones de causalidad de los fenómenos, la única manera de evaluación es compilar hasta donde sea prácticamente posible, datos que puedan influir en el crecimiento y/o rendimiento de las plantaciones y someterlos a un diseño estadístico.

Algunos cambios ocurridos en el suelo bajo plantaciones forestales pueden considerarse como una deterioración (por ejemplo, reducción de la aireación, acidificación, compactación). Sin embargo, aunque tales cambios hayan ocurrido, no puede concluirse automáticamente que han afectado negativamente el rendimiento de las plantaciones. Esto dependerá de la magnitud de los cambios con respecto a los requerimientos de los árboles ensayados. Es importante saber que el rendimiento está fuertemente influenciado por los tratamientos silviculturales (podas, raleos, espaciamiento).

Hay ejemplos en la región tropical en los cuales los forestales han tratado de desarrollar métodos que correlacionan el suelo o las características morfológicas con el rendimiento del sitio (el método del índice de sitio es bien conocido). Los factores relevantes que influyeron en el rendimiento (productividad) fueron en muchos casos el clima (altitud, lluvia, distribución de la lluvia, temperatura), nivel de nutrimentos en el suelo superficial, profundidad del suelo, pendiente, micorriza, pH, drenaje y porosidad.

4. Conclusiones

4.1. Manejo

Casi todos los investigadores que trabajan con este problema, coinciden en la opinión de que sin métodos especiales de conservación y manejo (por lo menos en lo que se refiere a suelos infértiles de los trópicos húmedos y semihúmedos), la conversión de la vegetación natural en bosques artificiales, resultará inevitablemente en el decrecimiento de la productividad del sitio y en la degradación del suelo

(reducción de la porosidad, nivel de nutrimentos, materia orgánica, etc.). Esta degradación dependerá del estado inicial del suelo, de las prácticas de explotación forestal, de las condiciones climáticas, de la presión sobre nuevas áreas y de la aplicación de técnicas apropiadas de manejo. SANCHEZ, 1977, ha criticado este planteamiento. El parte del hecho de que todas las propiedades del suelo son manejables. El autor de estas notas no está completamente de acuerdo con Sánchez debido a que no todos sus métodos de manejo recomendados son factibles económicamente y porque los paisajes de suelos Oxisoles-Ultisoles, están cubiertos por bosque natural o por Sabanas, en los cuales el metabolismo de la materia orgánica juega un papel más importante que las propiedades del suelo mineral. Las prácticas de manejo sugeridas por Sánchez (y aplicadas en Yurimaguas, Perú, a nivel experimental) son las siguientes:

- Manejo de la acidez del suelo (encalado a pH 5.5);
- Manejo de los bajos contenido de Fósforo;
- Tasas y métodos de aplicación de Fósforo;
- Uso de fuentes baratas de Fósforo;
- Encalamiento;
- Manejo de las sequías periódicas durante la estación lluviosa;
- Manejo y otras deficiencias nutricionales (N, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mo y B.

Parece importante informar en estas notas, el hecho de que la micorriza de la hojarasca en la selva es quizás responsable del rápido reciclaje y mantenimiento del nivel nutricional del ecosistema (aunque no

todas las pluviselvas tropicales poseen una micorriza en su hojarasca y la materia orgánica infiltrada por la pudrición de las hojas, reemplazaría en parte la pérdida de nutrimentos)*. Los resultados de las investigaciones que se conducen actualmente en la región de San Carlos de Río Negro, Venezuela, deben aportar claridad sobre este aspecto.

El manejo en la fase de tumba y extracción es muy importante para la dinámica del suelo. En la América tropical, con la excepción quizás de Brasil, no se han investigado técnicas de manejo debido a que existen pocas regiones con plantaciones forestales que hayan alcanzado la edad de primera rotación y se hayan aprovechado y replantado.

LUNDGREN 1978, menciona las siguientes prácticas como relevantes del grado de disturbio del suelo:

- Tipo de técnica y maquinaria usada en la corta y extracción;
- Grado de biomasa removida;
- Cantidad de residuos y hojarasca removida (quemada o removida de otro modo);
- Longitud del período de exposición de la superficie del suelo (el tiempo desde la corta hasta el cierre del dosel de la segunda rotación);
- Preparación del suelo antes de plantar.

El diseño de los métodos de manejo de suelos deben basarse sobre las condiciones locales del sitio y las prácticas forestales.

* Comunicación personal de J. PALMER

4.2. Necesidades de investigación

El requerimiento de la investigación básica es tan alto, que se necesita un esfuerzo institucional cooperativo. Los 40 ensayos de prove-niencia con especies forestales conducidos por el C.F.I. de Oxford, los cuales están distribuídos en muchas partes de los trópicos, pueden ser vir como un ejemplo de este tipo de investigación. A continuación se da una lista de investigaciones básicas y aplicadas sugeridas también por otros autores (LUNDGREN, 1977; SANCHEZ, 1976; von CHRISTEN, 1978):

- Selección de especies;
- Requerimientos de las especies;
- Estudios sobre los nutrimentos y el balance hídrico;
- Ensayos de fertilización;
- Modelos de predicción para el tiempo de cosecha;
- Sistemas para controlar los cambios en el suelo;
- Biología de la descomposición de la hojarasca;
- Ensayos con plantaciones mixtas;
- Rotación de cultivos y plantaciones intercaladas (sistema multies-trata);
- Experimentos sobre métodos de aclareo.

Cuadro 1: Contenido de nutrimentos en las hojas de dos bosques tropicales de montaña y dos rodales de la zona boreal con diferentes tipos de humus. (Según Grubb, 1977, adaptado de von Christen, 1978).

	N %	P %	K %	Ca %
1. Montañas tropicales				
1.1. Moder (bosque nativo)	1.05 (48%)	.054 (66%)	.55	.62
1.2. Mill (bosque nativo)	1.32 (14%)	.083 (28%)	.91	1.19
2. Zona boreal (Alemania)				
2.1. Humus bruto (Picea Abies)	1.5 (20%)	.16 (31%)	.7	.4
2.2. Moder (Fagus silvatica)	3.0 (43%)	.20 (35%)	.9	.4

Entre paréntesis: bioclementos removidos de las hojas antes de caer, en porcentaje.

Fuente: GRUBB, P. J. 1977. Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains. Ann. Rev. Ecol. Syst. Vol. 8. 83-107.
(Original no consultado)

Cuadro 2: Producción anual de hojarasca y aporte de nutrimentos por la plantación al suelo en bosques húmedos tropicales (Kg/ha) (Según FASSBENDER, 1977).

Region	t/ha Materia seca	<u>N</u>	<u>P</u>	<u>K</u>	<u>Ca</u>	Mg
Congo	12,4	224	7	48	105	53
Congo	12,3	223	9	62	91	44
Congo	15,3	154	9	87	84	49
Congo	14,9	140	4	104	124	43
Costa de Oro	8,0	109	4	31	104	22
Costa de Oro	11,0	164	11	54	73	43
Kade, Ghana	12,5	199	7	68	206	45
Queensland	6,7	108	6	37	75	-
Colombia	12,0	141	4	17	90	21
Colombia	8,7	103	3	29	124	12
Colombia	9,5	109	2	19	53	18
Brasil	7,3	106	2	13	18	13
China	5,8	170	10	25	110	50
Panamá	11,3	-	9	129	240	22
Panamá	10,4	-	3	91	98	33
Panamá	11,6	-	13	110	165	29
Venezuela	-	57	3	28	31	12

Quadro 3: Distribución porcentual de nutrientes en ecosistemas forestales.
(Según FASSBENDER, 1977).

Region	Autor	materia orgánica t/ha	N	P	K Kg/ha	Ca	Mg
Kade, Ghana	(Greenland and Kowal.) ^{1/}	4839	5655	80	1152	4260	610
Sum.							
% Vegetation		6	18	86	43	38	38
% Litter		1	1	14	1	1	1
% Soil (25 cm)		93	81	-	56	61	61
Manaos, Brasil	(Klinge) ^{2/}	514	7538	168	634	718	451
Sum.							
% Vegetation		92	40	39	72	70	57
% Litter		1	4	18	12	30	39
% Soil (30 cm)		7	56	42	10	0	4
Sta. Fe, Panamá	(Golley et al) ^{3/}	394	-	176	3456	26268	2685
Sum.							
% Vegetation		96	-	79	89	14	15
% Litter		4	-	8	1	1	1
% Soil (30 cm)		-	-	13	10	85	84
Carare, Colombia	Folster, De Las Salas, Khanna) ^{4/}	372	6753	299	428	551	204
Sum.							
% Vegetation		50	11	9	65	78	65
% Litter		15	10	6	7	17	14
% Soil (50 cm)		35	79	85	28	5	21
Nueva Guinea		2220					
Sum.							
% Vegetation		6	7	79	61	33	34
% Litter		1	1	6	1	2	1
% Soil (30 cm)		93	92	15	38	65	65
Mérida, Venezuela	^{5/}	601	9074	1040	1771	1597	389
Sum.							
% Vegetation		77	12	6	83	56	65
% Litter		7	6	3	3	13	4
% Soil (20 cm)		16	81	91	14	31	31

^{1/} plant and soil (12) 1960; ^{2/} Biogeotropica (7) 1976; ^{3/} Univ. of Georgia Press: 1975;
^{4/} Oecologia Plantarum (11), 1976;
^{5/} Univ. of Gottingen, W. Germany.

Cuadro 4: Nutrientes inmovilizados en el bosque y en la capa de humus (adaptado de von CHRISTEN, 1978).

Componente del bosque ^{1/}	Materia orgánica peso seco t/ha	Kg/ha					
		N	P	K	Ca		
1. Rodal	305	319	40	324	187		
2. Follaje	3	39	2.7	2.6	18		
3. Humus						pH C/N	
3.1. Humus bruto	28	276	26	53	96	3.4	35
3.2. Moder	430	9.000	-	130	30	3.0 5.5	28
3.3. Mull	154	7.000	-	200	240	6.3	10
4. Madera	10	6.6	.9	8.1	5.4		

- 1/ 1. Pinus radiata. 35 años. (Will, G. M. Comm. For. Rev. (43). (1964)
2. Caída anual de hojarasca; el mismo rodal
- 3.1. Humus bruto bajo P. patula (Christen, H. von. For S. Africa (5) 1964).
- 3.2. Moder bajo un bosque tropical montano (Tanner, E. J. Ecol. (65). 1977).
- 3.3. Mull bajo un bosque tropical montano (Edwards, P. J. Ecol. (65). 1977).
4. Madera removida por la cosecha de P. radiata (promedio anual: 20 m³/ha).

Cuadro 5: Circulación anual y total de nutrimentos, capital y remoción en rodales de Pinus patula y Cupressus lusitanica en Tanzania durante una rotación de 30 años (todas las cifras en kg/ha). (Según LUNDGREN, 1978).

<u>Pinus patula</u>	N	P	K	Ca	Mg
1. Demanda anual promedio	145	13	78	109	32
2. Retorno anual al suelo	64	5	35	63	17
3. Remoción por raleos/año	14	2	8	10	3
4. Retenido en la biomasa/año	67	6	35	36	12
5. Inventario total a la edad de rotación	2004	186	1042	1075	346
6. Remoción en las trozas por corta total	773	81	453	468	178
7. Restos en el suelo por corta total	1231	105	589	607	168
8. Remoción total del sitio	1205	126	696	753	277
9. Remoción promedio anual	40	4	23	25	9
<u>Cupressus lusitanica</u>					
1. Demanda anual promedio	102	10	74	177	16
2. Retorno anual al suelo	50	4	30	101	9
3. Remoción por raleos/año	10	1	8	15	1
4. Retenido en la biomasa/año	42	5	36	61	6
5. Inventario total a la edad de rotación	1263	147	1090	1818	183
6. Remoción en las trozas por corta total	560	63	472	781	68
7. Restos en el suelo por corta total	703	84	618	1037	115
8. Remoción total del sitio	845	93	724	1219	104
9. Remoción promedio anual	28	3	24	41	3

- Notas: 1. = 2 + 3 + 4
 2. = nutrimentos retornados en la hojarasca, raleo; broza y lavado de lluvia
 3. = capital total en troncos de raleo (madera + corteza) /30
 4. = inventario total a la edad de rotación (5)/30
 6. = inventario en los troncos (madera+corteza) a la edad de rotación
 7. = inventario en el follaje y ramas+conos a la edad de rotación
 8. = $\frac{30 \times 3.}{8.} + 6$
 9. = $\frac{8.}{30}$

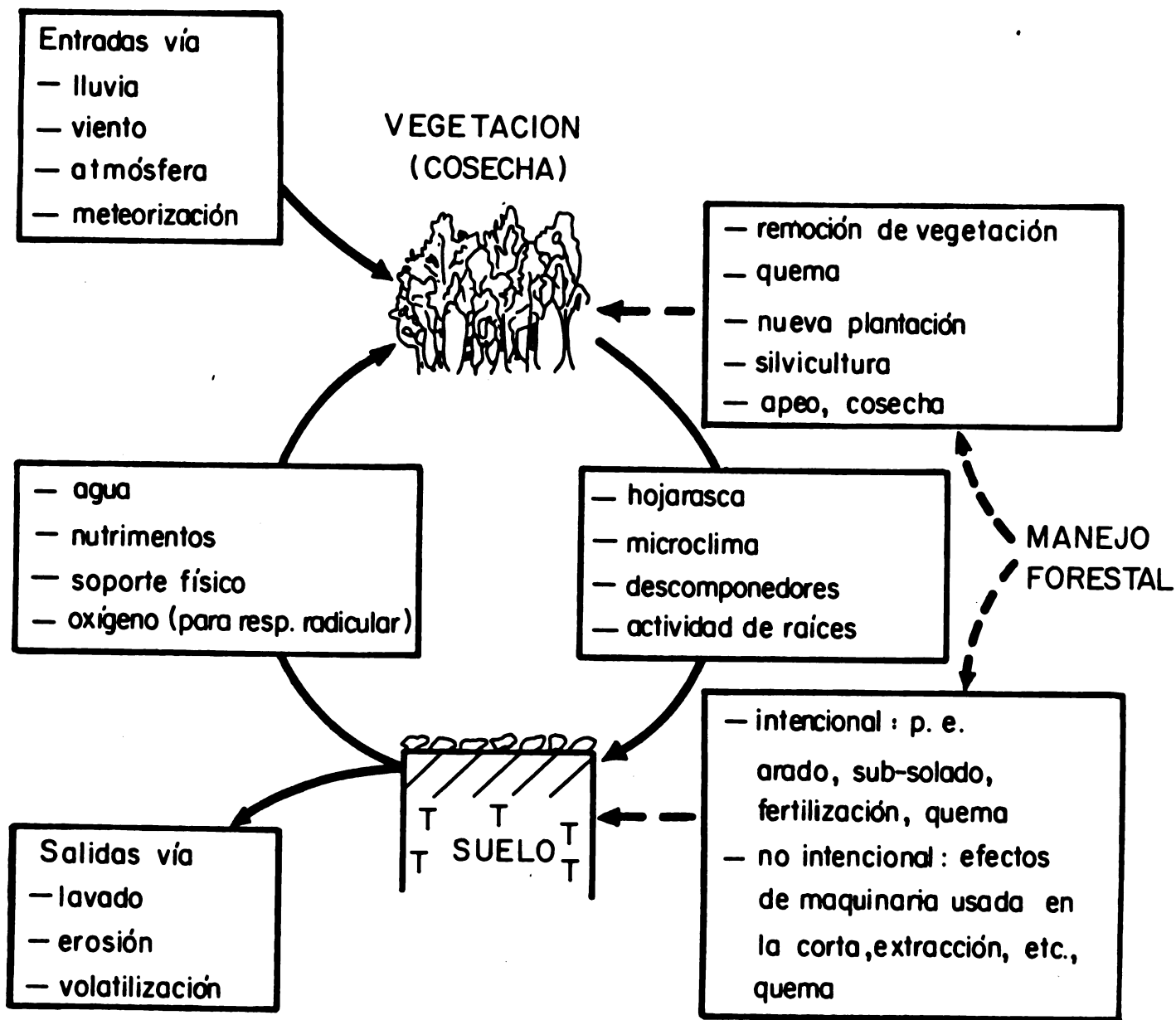


Fig. 1 Interrelaciones entre el suelo y la vegetación en un ecosistema vegetal (según Lundgren, 1978)

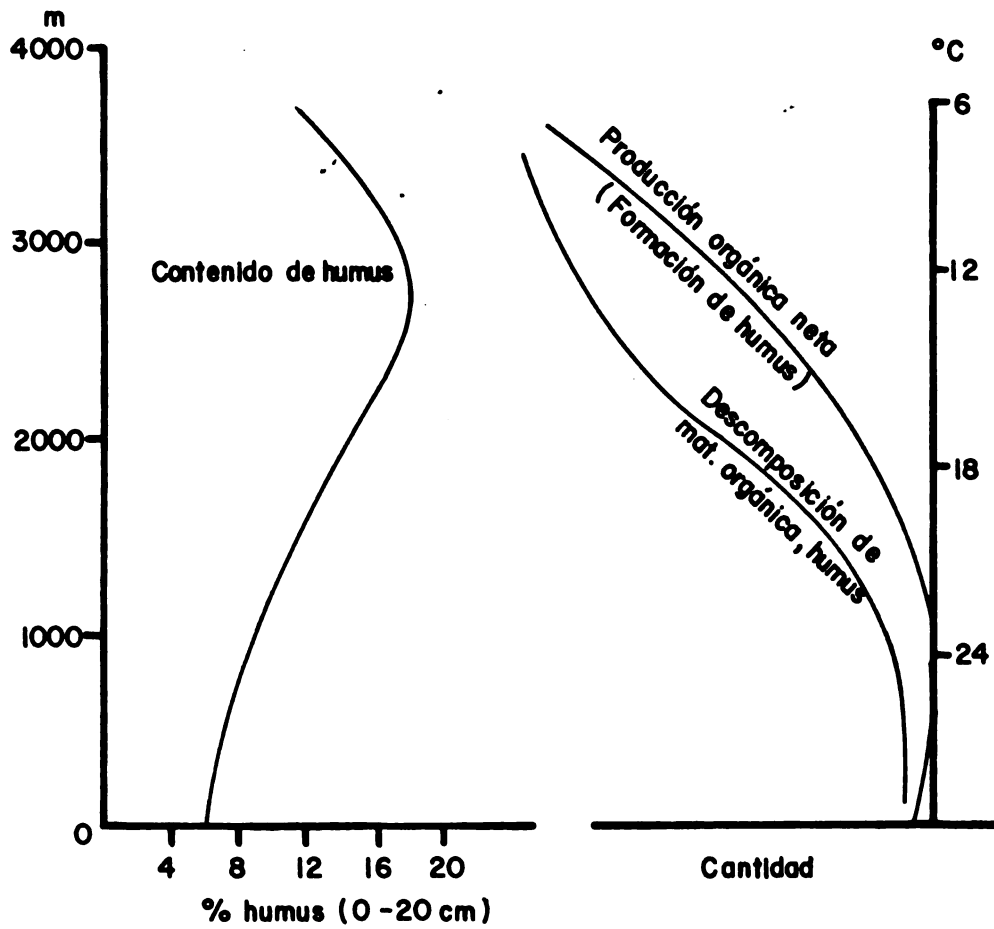


Fig. 2 Contenido de humus y tasas relativas de producción - descomposición de la materia orgánica en función de la altitud s.n.m. (según Fölster y Fassbender, 1977)

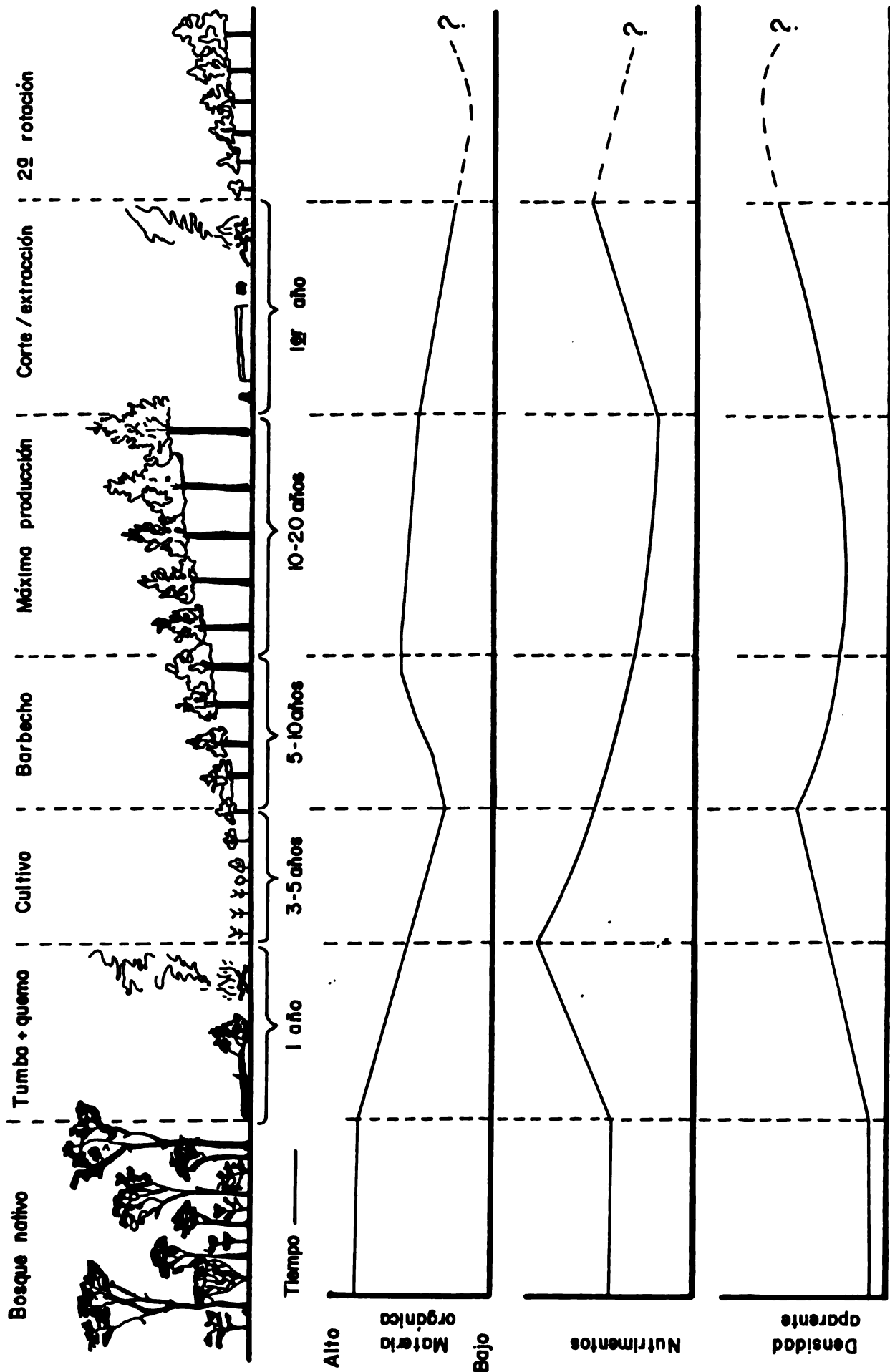


Fig. 3 Cambios en la materia orgánica, nutrientes y densidad aparente por la conversión del bosque nativo en plantaciones de corta rotación (según Lundgren, 1978)

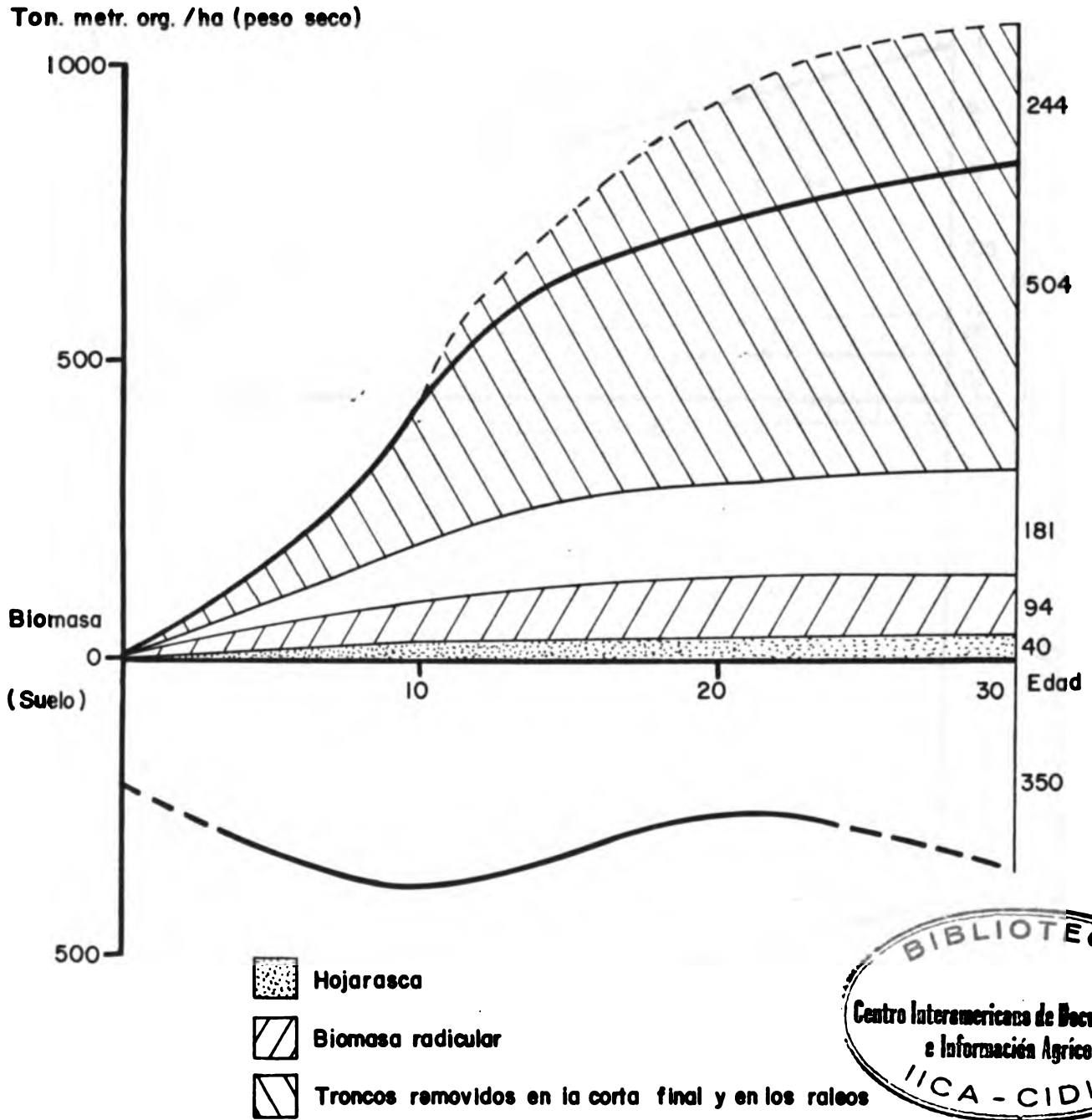


Fig. 4 Cambios en la distribución de la materia orgánica en la biomasa, la hojarasca y el suelo (0-50 cm) durante una rotación de Pinus patula en Tanzania (según Lundgren, 1978)

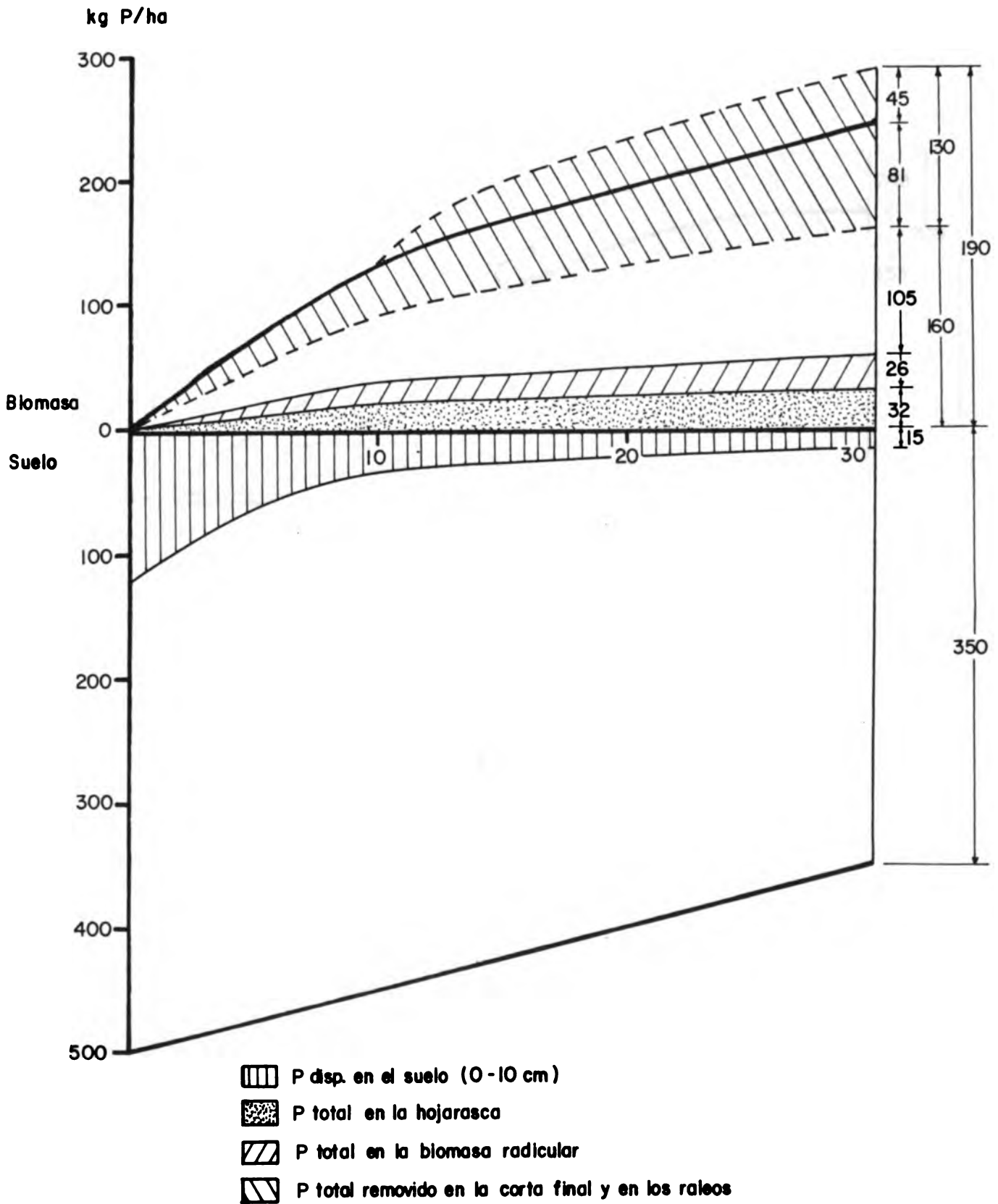


Fig. 5 Cambios en la distribución del fósforo en la biomasa, hojarasca y suelo superior (0-10 cm) durante una rotación de Pinus patula en Tanzania (según Lundgren, 1978)

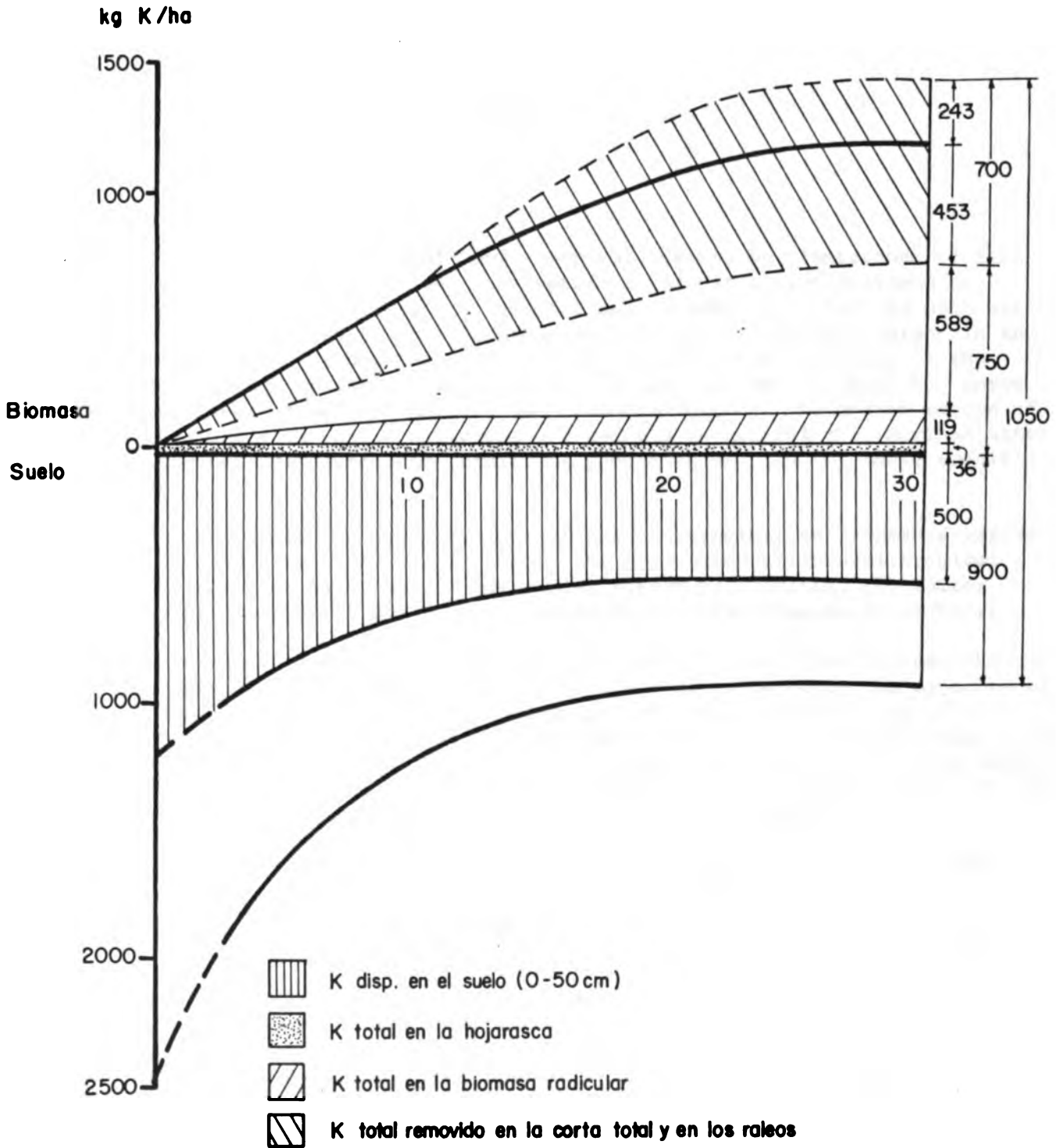


Fig. 6 Cambios en la distribución del potasio en la biomasa, la hojarasca y el suelo (0-50 cm) durante una rotación de *Pinus patula* en Tanzania (según Lundgren, 1978)

SOME CONSEQUENCES OF FOREST FELLING TO SOILS AND NUTRIENT
CYCLING IN TROPICAL ENVIRONMENTS

SUMMARY

The replacement of natural humid tropical forests by plantations of fast growing species such as pine and eucalyptus, is almost always followed by a deterioration of the physical and chemical soil conditions. Even if such soil deterioration is proved to have occurred, it does not permit conclusions in the sense that yields will decrease. This will depend on the magnitude of the change in relation to the requirement of the tree species in question. Large plantation areas of Gmelina arborea and Pinus caribaea in the amazon region of Brazil (Yari) and of Cordia alliodora and Cedrela angustifolia in Surinam after burning the natural forest, are until now promising species for these specific conditions.

The transfer to the soil of plant biomass in tropical environments varies between 5.8 and 15.3 t/ha/yr. If the litter production of natural tropical forests is compared with that of commercial forest plantations, the latter generally provides about 2-2.5 tons (approximately 25%) less material/ha/yr.

Bioelement losses from medium to highly productive conifer stands, through the wood harvest, do not appear to be very great as compared to the majority of agricultural crops. As a representative case of large areas of ecologically similar tropical regions covered with conifers, two 30-years rotation stands of Pinus patula and Cupressus lusitanica in Tanzania was quoted. The mean annual removal and the mean annual uptake of nutrients of these stands as rotation age (30 years) were as follows: (first figure refers to P. Patula).

	N	P	K kg/ha	Ca	Mg
Mean Annual Removal --	40/28	4/3	23/24	25/41	9/3
Mean Annual Uptake --	145/102	13/10	78/74	109/177	32/16

These figures, which express the nutrient demand upon the site, indicate whether the supply of nutrients by the soil is capable of satisfying the short and long term demands of artificial plantations. More over, they constitute basic data essential for the development of fertilization programs.

Other data on these two stands concluded that:

- of 100 tons organic matter added to the soil for a 10-year period, only 10 tons remain at the end of the period;
- the total removal of P (130 kg) during a 30-year rotation, represents only about 1/3 of the P-reserve in the topsoil at rotation age. The mean annual P-requirement (13 kg) indicates that P may be a growth limiting factor;
- a serious depletion of K is compensated by the low annual requirement.

A set of research needs are recommended (selection of species, species requirements, biology of litter decomposition, trials with mixed stands, among others).

REFERENCIAS

- BRISCOE, C. 1978. Improved utilization of tropical forests silviculture in plantation development; Jari. In: The Forester. The journal of the forestry and wood science society of the University College of North Wales. 57-73 pp.
- CHRISTEN, H. von. 1978. Aspectos edafológicos sobre el manejo de las plantaciones de coníferas en las Cordilleras colombianas. 21 p. (unpublished manuscript).
- CHRISTEN, H. von and G. DE LAS SALAS. 1978. Apuntes de un viaje de observación de trabajos de silvicultura en el bosque mesofítico de Surinam. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal. Bogotá. 32 p. (mimeografiado).
- FASSBENDER, H. W. 1977. Ciclos de elementos nutritivos en cosistemas forestales y su transformación con la agricultura rotativa. FAO-SIDA. Conferencia sobre ordenación y manejo de suelos tropicales. Lima, Perú. 3-15 octubre 1977. 8p. Anexos.
- FÖLSTER, H. and H. W. FASSBENDER 1977. Untersuchungen über Bodenstandorte der humiden Bergwälder in der nordlichen Andenkordillere (Research on Pedology and Ecology of Humid mountain Areas of the northern Andes). In: Conference on land use in the humid regions of the tropics. Göttingen, W. Germany. 20-21 october 1977. 101-110 pp.
- JAIYEBO, E. O. and A. W. MOORE. 1964. Soil fertility and nutrient storage in different soil-vegetation systems in a tropical rain forest environment. Trop. Agric. (Trinidad) 41(2): 129-139.
- LUNDGREN, B. 1978. Soil conditions and nutrient cycling under natural and plantation forest in tanzanian Highlands. Uppsala. Swedish University of Agricultural Sciences. Dept. of forest soils. Reports in forest ecology and forest soils 31. 426 p.
- NYE, P. H. and D. J. GREENLAND. 1960. The soil under shifting cultivation. Commonwealth Bureau of soils. Tech. Commun. 51. Harpenden. England.
- NYE, P. H. and D. J. GREENLAND. 1964. Changes in the soil after clearing tropical forest. Plant and Soil. 21(1): 101-112.
- SALAS G. DE LAS. 1972. Effects of grazing and fire on the properties of soils in the Carare-Opón region, Colombia. Summary of seminar. University of Göttingen. 5 p.
- SALAS G. DE LAS and H. FÖLSTER. 1976. Bioelement loss on clearing a tropical rain forest. Turrialba (26):2. 179-186.
- SANCHEZ, P. A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. Wiley & Sons. New York. 618 p.
- SANCHEZ, P. A. 1977. Alternativas al sistema de agricultura migratoria en América Latina. CIAT. 30 p. Anexos.