

**SUELOS Y SISTEMAS DE PRODUCCION
AGROFORESTALES**

(Notas del curso, 1982-1983)

✓
H.W. Fassbender

Setiembre 1983

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA, CATIE
Departamento de Recursos Naturales Renovables
Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ
Turrialba, Costa Rica

PROLOGO

SECRETARIA
DOCUMENTACIÓN E INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIO
18 FEB 1984
C I D I A
Turrialba, Costa Rica

Estas notas fueron preparadas en base a dos cursos sobre "Aspectos edafológicos en los sistemas de producción agroforestales" dictados por el autor en la Escuela de Posgrado UCR-CATIE en 1982 y 1983 en su calidad de consultor del Proyecto Agroforestal de la GTZ en Turrialba, Costa Rica.

El autor desea agradecer al Dr. Jochen Heuveloop, Coordinador del Proyecto Agroforestal CATIE-GTZ por su invitación como asesor al Proyecto y por su constante motivación para dictar el curso. Igualmente a la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) por el apoyo financiero correspondiente.

Las notas fueron tomadas y escritas por los estudiantes participantes al curso, sin su ayuda no hubiera sido posible preparar este trabajo, por ello para ellos también un sincero agradecimiento. Igualmente agradezco a la Escuela de Posgrado UCR-CATIE por su interés en la realización del curso.

Algunos de los dibujos los preparó Emilio Ortiz. Los estenciles del documento final los preparó Lilliam Ugalde de Brenes, para ella especialmente un sincero agradecimiento.

La publicación y distribución de este documento fue patrocinado por el Programa Suizo de Cooperación para el Desarrollo, DDA, por medio de INFORAT: Información y Documentación Forestal para América Tropical.

H.W. Fassbender
Profesor de la Facultad Técnica Forestal
en Gottinga, Alemania.

Turrialba, Setiembre 1983.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
Prólogo.....	i
Indice del Contenido	ii
Indice de Figuras.....	v
Indice de Cuadros	ix
INDICE DEL CONTENIDO	
1. LOS ECOSISTEMAS Y LOS SISTEMAS DE PRODUCCION AGROFORESTALES	1
1.1 El concepto del "sistema"	1
1.2 El ecosistema natural	8
1.3 Els sistema agroforestal	13
2. CICLO DEL AGUA EN ECOSISTEMAS	
2.1 Ciclo del agua en la naturaleza	17
2.2 Ciclo del agua en un ecosistema forestal	23
2.3 El agua en el suelo	24
2.4 Constantes de humedad del suelo.....	30
2.5 Movimiento del agua	33
2.6 El balance hídrico	34
2.7 Deposición de elementos químicos con el agua de lluvia	41
3. CICLO DE LA MATERIA ORGANICA	
3.1 La materia orgánica del suelo	41
3.2 Composición de la materia orgánica	42
3.3 La capa de mantillo.	44
3.4. El humus en el suelo mineral	46
3.4.1 Perfil y contenido de humus en el suelo	46
3.4.2 Factores determinantes del contenido del humus	47
3.4.3 Métodos de análisis	50
3.4.4 Importancia del humus en el suelo	52

	<u>Página</u>
3.5 Ciclo de la materia orgánica en ecosistemas forestales	54
3.5.1 Contenido de la materia orgánica en ecosistemas tropicales	54
3.5.2 Transformación de la materia orgánica en ecosistemas.....	60
3.6 Efecto de la tala y quema	64
3.7 Materia orgánica en sistemas de producción agrícola	65
3.8 Materia orgánica en sistemas de producción forestales.....	71
3.9 Materia orgánica en sistemas de producción agroforestales.....	74
4. CICLO DEL NITROGENO	
4.1 El Nitrógeno en el suelo	89
4.1.1 Contenido del N en el suelo	89
4.1.2 Formas del N en el suelo	90
4.2 Ciclo del Nitrógeno en la naturaleza, especialmente en el suelo..	90
4.3 El Nitrógeno en ecosistemas forestales.....	94
4.4 El Nitrógeno en sistemas de producción	104
4.4.1 El N en suelos de producción agrícola	104
4.4.2 El N en sistemas de producción forestales.....	104
4.4.3 El N en sistemas de explotación agroforestales.....	105
5. CICLO DEL FOSFORO	
5.1 El fósforo en el suelo	115
5.1.1 Contenido de P en el suelo.....	115
5.1.2 Formas del P en el suelo.....	115
5.2 Ciclo del fósforo en ecosistemas forestales.....	118
5.3 El fósforo en sistemas de producción.....	121
5.3.1 Fertilización y fijación de P en suelos agrícolas.....	122
5.3.2 El P en sistemas forestales.....	123
5.3.3 El P en sistemas agroforestales.....	124

6.	CICLO DEL POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO	
6.1	El potasio, calcio y magnesio en el suelo	131
6.1.1	Contenido y formas	131
6.1.2	Los procesos de intercambio catiónico.....	133
6.1.3	El encalado de los suelos	139
6.2	Potasio, calcio y magnesio en sistemas agrícolas, forestales y agroforestales.....	140
6.2.1	Ciclo en ecosistemas forestales.....	140
6.2.2	El K, Ca y Mg en la remoción de bosques.....	141
6.2.3	El K, Ca y Mg en plantaciones forestales.....	144
6.2.4	El K, Ca y Mg en sistemas de producción agroforestales...	144

INDICE DE FIGURAS

	<u>Página</u>
1.1 Representación esquemática del ecosistema	3
1.2 Símbolos en el lenguaje de sistemas (ODUM, 1983, LUGO, 1982).....	5
1.3 El desarrollo de un modelo de la fotosíntesis (según HART, 1980).	7
1.4 Una región agrícola como sistema (HART, 1980).....	7
1.5 Esquema básico de los compartimentos de un ecosistema forestal y sus procesos de transferencia y cambio (GRIMM y FASSBENDER, 1981).	12
1.6 Modelo esquemático de un sistema agroforestal.....	15
2.1 Ciclo del agua en la naturaleza(GAVANDE, 1979).....	17
2.2 Diagrama para la clasificación de las zonas de vida (HOLDRIDGE, 1979).....	19
2.3 Climodiagramas y tipos de vegetación en áreas tropicales de bajura en Perú y Ecuador (ELLENBERG, 1972).	21
2.4 Climodiagramas de algunos lugares de Costa Rica según Walter y Lieth.....	22
2.5 Representación esquemática del agua y sus flujos en los ecosis- temas.....	25
2.6 Triángulo de texturas del suelo (GAVANDE, 1971).....	29
2.7 Curvas de retención del suelo	32
3.1 Relación entre la altura y precipitación en el contenido de materia orgánica (JAGNOW, ver Fassbender, 1975).....	51
3.2 Relación entre la producción y descomposición de la materia orgánica con la temperatura (Fassbender, 1975).....	51
3.3 Relación entre pH, y la relación C/N (Hardon, ver Fassbender,1975)	51
3.4 Inventario de la materia orgánica de Ecosistema forestal de San San Eusebio, Mérida, Venezuela (Adaptado de Fassbender y Grimm, 1981)	57
3.5 Reservas orgánicas de algunos ecosistemas forestales montanos y de llanura (Grimm, Fassbender, 1981).....	58
3.6 Producción de residuos vegetales totales y de hojas en San Eusebio (Grim, Fassbender, 1981).....	63

3.7	Producción de residuos vegetales en diferentes ecosistemas forestales y su índice de transformación (Grimm, y Fassbender, 1981).....	44
3.8	Líneas de descomposición de residuos de hojas y ramas (Grimm, Fassbender, 1981).....	63
3.9	Temperatura del aire y suelo en la quema (Sánchez, 1981) Ewel et al 1981).....	66
3.10	Temperatura del aire y suelo en la quema (Sánchez, 1981) Ewel et al 1981).....	66
3.11	Efecto de la quema sobre los elementos nutritivos del suelo (Fassbender inedito).....	67
3.12	Cambios del pH del suelo con la quema (Sánchez, 1981).....	63
3.13	Efecto de la temperatura sobre propiedades químicas del suelo (Fassbender, 1978).....	68
3.14	Representación esquemática de la fertilidad de los suelos en sistemas de explotación agrícolas (Fassbender, 1975).....	69
3.15	Biomasa y elementos nutritivos en regeneración natural (Fölster, De las Salas, 1976).....	72
3.16	Cambio de la materia orgánica en un ciclo de plantación de Pinus patula en Tanzania (Lundgren, 1978).....	73
3.17	Ciclo de la materia orgánica en los sistemas agroforestales café con laurel y café con poró (Alpizar et al, 1983).....	77
3.18	Ciclo de la materia orgánica en los sistemas agroforestales cacao con laurel y cacao con poró (Alpizar et al, 1983).....	78
3.19	Producción de residuos vegetales naturales en el sistema café con laurel y café con poró.....	82
3.20	Producción de residuos vegetales naturales en el sistema cacao con laurel y cacao con poró.....	83
4.1	Representación w esquemática del ciclo del nitrógeno en la naturaleza (Fassbender, 1975).	92
4.2	Ciclo del nitrógeno en el ecosistema forestal de San Eusebio (Fassbender, Grim, 1981).....	96
4.3	Ciclo del N en un sistema café-leguminosas (Aranuren, et al 1982).....	107
4.4	Ciclo del N en un sistema cacao-leguminosas (Aranuren et al 1982.....	107

4.5	Ciclo del nitrógeno en el sistema agroforestal café con laurel (Alpízar et al, 1983).....	109
4.6	Ciclo del nitrógeno en el sistema agroforestal café con poró (Alpízar et al, 1983).....	112
5.1	Relación entre contenido de materia orgánica y fósforo orgánico (Fassbender et al 1968).....	117
5.2	Correlación entre pH y fosfatos férricos.....	119
5.3	Correlación entre pH y fosfatos calcicos	119
5.4	Ciclo del fósforo del ecosistema de San Eusebio, Mérida Venezuela en comparación con otros ecosistemas tropicales (Fassbender, Grimm, 1981).....	120
5.5	Ciclo de fósforo en el sistema café con laurel (Alpízar et al, 1983)..	125
5.6	Ciclo del fósforo en el sistema café con poró (Alpízar et al 1983)....	127
6.1	Capacidad de intercambio variable (Fassbender 1978).....	135
6.2	Relación entre pH y porcentaje de saturación de bases en algunos suelos (Fassbender, 1975).....	135
6.3	Relación entre el calcio y aluminio extraíble (Fassbender, 1975).....	136
6.4	Efecto del encalado sobre pH y aluminio extraíble (Fassbender, 1975).....	137
6.5	Efecto del encalado sobre la acidez y bases cambiables (Fassbender, 1975).....	137
6.6	Efecto del encalado sobre el pH y calcio cambiabile a diferentes profundidades, después de 39 meses de la aplicación (Fassbender, 1975).....	138
6.7	Efecto del encalado sobre la producción de materia seca de cuatro leguminosas tropicales (Fassbender 1975).....	138
6.8	Ciclo del aluminio en el ecosistema de San Eusebio (Fassbender y Grimm, 1981).....	142
6.9	Ciclo del K, y Ca, Mg en el ecosistema de San Carlos de Río Negro (Herrera et al, 1981).....	142
6.10	Distribución del potasio durante una rotación de <u>Pinus patula</u> en Tanzania (Lundgren, 1978).....	143

6.11	Ciclo del potasio en el sistema de producción agroforestal café con laurel (adaptado de Alpízar et al, 1983).....	148
6.12	Ciclo del potasio en el sistema de producción agroforestal café con poró. (Adaptado de Alpízar et al, 1983).....	149

INDICE DE CUADROS

	<u>Página</u>
2.1	Clasificación de partículas del suelo..... 22
2.2	Cálculo del agua disponible en su suelo modal..... 29
2.3	Evapotranspiración de cultivos y especies arbóreas tropicales (Doorenbos y Prunit, 1977)..... 35
2.4	Balance hídrico en el suelo modal (234 mm) bajo condiciones de lluvia de 1 La Suiza y una evapotranspiración diaria de 6 mm..... 36
2.5	Deposición de elementos químicos con las lluvias (SLEINHART y Fassbender, 1979).....
3.1	Contenido de C y N en algunos suelos de América Latina (Fassbender, 1975)..... 48
3.2	Distribución de materia orgánica y elementos químicos en ecosistemas forestales (Fassbender, 1978)..... 59
3.3	Transferencia de materia orgánica (t/ha y año) y elementos químicos (kg/ha y año) con los residuos vegetales (Grimm Fassbender, 1981)..... 61
3.4	Comportamiento del C y N en suelos agrícolas bajo explotación..... 69
3.5	Biomasa aérea en los sistemas agroforestales café con laurel y café con poró (Alpízar et al, 1983).....
3.6	Producción de residuos vegetales en los sistemas café con laurel y café con poró (Alpízar et al, 1983)..... 80
3.7	Producción de residuos vegetales en los sistemas cacao con laurel y cacao con poró..... 81
3.8	Cuadro comparativo de la fitomasa en diferentes sistemas agroforestales 84
3.9	Valores comparativos de producción natural de hojarasca en diferentes sistemas agroforestales..... 85
4.1	Transferencia de elementos químicos en el ciclo hidrológico (Grimm, Fassbender, 1981)..... 97
4.2	Remoción de elementos nutritivos con algunos cultivos tropicales (Sánchez 1981)..... 99
4.3	Circulación anual y total de nutrimentos en rodales de Pinus patula y Cupressus lusitanica en Tanzania durante 30 años (Lundgren, 1978)..... 101

4.4	Contenido de nitrógeno en diferentes componentes bióticos (Alpízar et al, 1983).....	111
4.5	Reservas nutritivas en plantaciones de <u>Pinus caribaea</u> de 6 y 10 años de edad (Egunjobi y Bada, 1979).....	
4.6	Producción promedio anual del café bajo dos sistemas agroforestales (kg/ha,) Alpízar et al, 1983).....	111
4.7	Producción promedio anual del cacao bajo dos sistemas agroforestales (kg/ha y año), Alpízar et al, 1983).....	111
5.2	Contenido de fósforo (%) en diferentes órganos de los componentes de cuatro sistemas agroforestales (Alpízar et al, 1983).....	128
5.3	Contenido promedio de fósforo (kg/ha) en la biomasa seca de cuatro sistemas agroforestales (Alpízar et al, 1983).....	129
5.4	Contenido de fósforo (kg/ha) en la cosecha de cuatro sistemas agroforestales (Alpízar et al).....	129
6.1	Capacidad de intercambio de algunos minerales arcillosos, materia orgánica y materia orgánica (Fassbender, 1975).....	135
6.2	Variaciones del P pH y las bases cambiables por la tumba y quema de bosques (Fassbender, 1975).....	136
6.3	Contenido de elementos nutritivos de diferentes órganos vegetales en sistemas de producción agroforestales.....	
6.4	K, Ca, Mg en la biomasa de sistemas agroforestales café con laurel y café con poró (Alpízar et al, 1983).....	147
6.5	Cosecha y remoción de K, Ca y Mg en sistemas de producción agroforestales (Alpízar, et al, 1983).....	147

CAPITULO PRIMERO

LOS ECOSISTEMAS Y LOS SISTEMAS DE PRODUCCION AGROFORESTALES

1.1 El concepto del sistema

Los sistemas en su concepto más general se pueden definir como un arreglo de componentes relacionados de tal modo que funcionan como una unidad o un todo; todos tienen como rasgos comunes los siguientes elementos: entradas, salidas, límites, componentes y las interrelaciones entre esos componentes.

La naturaleza está ordenada en una jerarquía de sistemas de complejidad creciente desde el nivel atómico hasta la biosfera como un todo; entre estos los sistemas ecológicos (ecosistemas) son aquellos conformados por componentes vivos y no vivos que interactúan entre sí (Figura 1.1). En estos sistemas ingresa energía de origen solar y materiales provenientes de otros sistemas. Esta energía solar se transforma en energía potencial que se almacena en los organismos vivos y en energía térmica que se disipa al espacio.

Esta energía potencial es susceptible de ser aprovechada por el hombre y su máxima utilización es el propósito básico o primario de los sistemas de producción agroforestal.

El manejo y eventual mejoramiento de los ecosistemas agrícolas ocurren sobre la base de una comprensión adecuada de su estructura y funcionamiento, tarea compleja en extremo dada la cantidad de aspectos que deben considerarse obligadamente.

Para facilitar la tarea a menudo se recurre a la metodología del análisis de sistemas que tiene la virtud de poder representar fenómenos complicados en términos relativamente simples que esquematizan los aspectos prominentes y básicos de la situación bajo análisis.

Los ecosistemas o partes de ellos pueden ser descriptos mediante modelos, que constituyen una representación simplificada de la realidad. En los modelos se exponen los aspectos más sobresalientes del sistema, de acuerdo con el objetivo de la investigación.

Existen diversos tipos de modelos. La forma más elemental es el denominado "modelo verbal" y consiste de una descripción con palabras del sistema en estudio en el que se deben establecer los componentes, el tipo de interacciones, los límites del sistema, sus entradas y sus salidas. Una descripción mediante bloques que representan los componentes del sistema y flechas que indican el sentido de las interacciones, da lugar al modelo de compartimentos "diagrama de flujos". En la Fig. 1.1 se representa un sistema idealizado natural o explotado, en el cual las entradas corresponden a un sistema idealizado (natural o bajo explotación) con sus componentes bióticos (plantas y animales) y sus componentes abióticos (clima, fisiografía, suelo, material geológico), los cuales tienen interacciones múltiples entre ellos. El sistema presenta ganancias (radiación solar, precipitación, gases atmosféricos) y pérdidas (lavaje, escorrentía, producción agrícola y calor, etc...).

El concepto básico de las bases edafológicas de sistemas de producción de sistemas agroforestales - así también como otros sistemas de producción netamente agrícolas, pecuarios o forestales - está presentado en la Figura 2. El suelo aporta en base a su profundidad el sostén para las plantas y participa directamente en los ciclos del agua y elementos químicos que se desarrollan en la biosfera. Un análisis de los ciclos implica una descripción estática (inventario de los recursos en compartimentos) y una medida dinámica (descripción de los procesos de flujo entre compartimentos). El agua juega un papel muy importante dentro de todos los procesos, por ello necesita ella una descripción especial. El ciclo de la materia orgánica es el resultado de los procesos biológicos del sistema de producción, su ciclo es primordial y conlleva la acumulación y transferencia de los elementos químicos. Las medidas de manejo del sistema (fertilización, encañado) y las cosechas representan exportaciones del sistema que deben estudiarse en detalle. En base a todas estas consideraciones pueden desarrollarse los modelos respectivos.

COMPONENTES CLIMATICOS

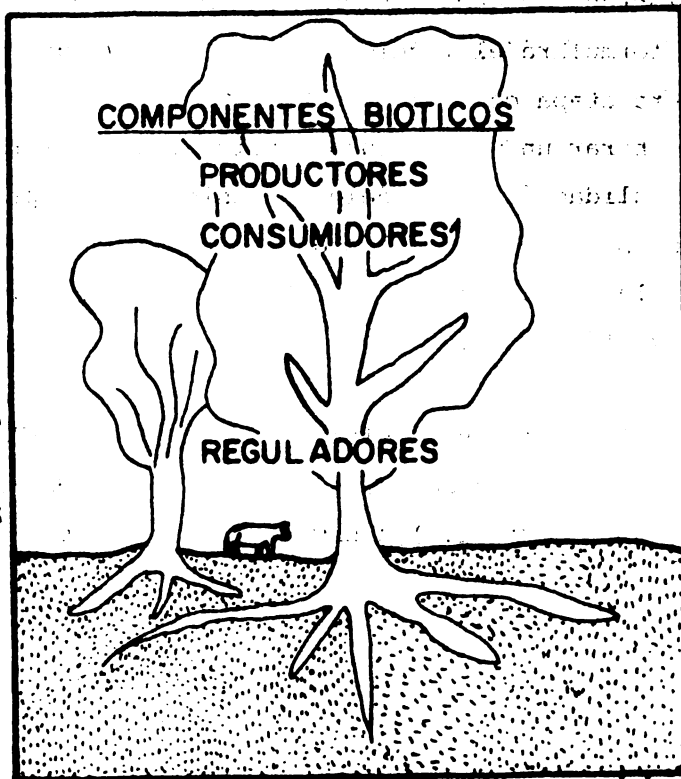
AIRE
ENERGIA SOLAR
TEMPERATURA
PRECIPITACION
HUMEDAD
VIENTO

GANANCIAS



COMPONENTES FISIOGRAFICOS

ALTURA
TOPOGRAFIA
EXPOSICION
PENDIENTES



PRODUCCION

PERDIDAS

COMPONENTES
GEOLOGICOS EDAFOLOGICOS
FISICOS QUIMICOS BIOLÓGICOS



Figura 1.1. El ecosistema y sus componentes.

ODUM introdujo una simbología útil para la elaboración de los diagramas de flujo, en la cual la función de cada componente del sistema es representada por un símbolo diferente; la Figura 1.2 muestra los símbolos y su correspondiente función y en las Figuras 1.3 y 1.4 se han representado algunos sistemas en este lenguaje.

El "modelo matemático" es aquel en el que los flujos están representados por ecuaciones que permiten predecir la magnitud de los componentes en un tiempo dado.

La técnica de modelación tiene una secuencia de etapas precisas, que comienza con la "identificación del sistema"; en esta, se establecen claramente los componentes y procesos involucrados y cuya importancia ameritan su inclusión en el modelo. Sobre esta base se "formulará el modelo", el cual podrá adoptar la forma de diagrama de flujos. La tercera etapa consiste en la toma de mediciones de cada componente,, lo cual permitirá elaborar un modelo cuantitativo y posteriormente uno matemático, La última etapa de "validación del modelo", consiste en comparar los valores del sistema real, con los predichos por el modelo matemático y realizar, si fuese necesario, los ajustes a las ecuaciones propuestas. La Figura 1.3 muestra esta secuencia a partir del modelo ya formulado.

Las técnicas de modelado son aplicables a cualquier nivel de organización, a nivel celular, como el proceso de fotosíntesis mostrado en la Figura 1.3, a nivel de fincas, regiones, (Fig.1.4), a nivel de los procesos que ocurren en el suelo, etc.

- a. Almacén pasivo. Este símbolo representa el almacenaje de cualquier substancia en el ecosistema, sin que ocurra una transformación de energía durante el almacenaje. Algunos ejemplos son el almacenaje de hojas en el suelo del bosque, gasolina en el tanque de un automóvil o comida en la alacena.
- b. Multiplicador. Este símbolo denota la relación multiplicativa entre un flujo energético de baja magnitud (factor controlante) y otro flujo energético de mayor magnitud (insumo). El producto representa un tercer flujo energético y está acompañado por la pérdida de calor.
- c. Receptor de energía. Este símbolo representa la recepción de energía ondular, como la energía solar, el sonido y el oleaje. La energía ondular activa algún material cíclico en el sistema y éste transfiere energía potencial a algún proceso del sistema y retorna a su estado de receptor. Un ejemplo es la recepción de luz por la clorofila.
- d. Consumidor. Este símbolo representa cualquier población de consumidores en un sistema, por ejemplo, el ser humano, sus máquinas, o los animales del bosque. El sistema consumidor almacena energía potencial activamente (por medio de transformación y pérdida de calor) y utiliza parte del almacenaje para trabajar y obtener más energía potencial.
- e. Productor. El símbolo de un sistema productor es la combinación de dos símbolos: un receptor de energía y un consumidor. La respiración del sistema es el consumidor, el cual mantiene la maquinaria metabólica y recibe energía potencial del receptor. Ejemplos: un bosque o una planta.
- f. Fuente de energía. Cualquier fuente de energía en un sistema se representa con el círculo. Ejemplos: el Sol, la energía térmica, el agua en una represa o el viento. Para facilitar la comprensión se debe especificar si la energía es transmitida como un flujo continuo, con fuerza continua o con alguna periodicidad específica.
- g. Presión o tensión. Este símbolo denota la pérdida de energía potencial de un sistema. La pérdida es una función multiplicativa de algún factor de tensión o presión. El producto de la interacción no hace el trabajo sino que se pierde como calor. Ejemplo: El efecto de un contaminante en un río.

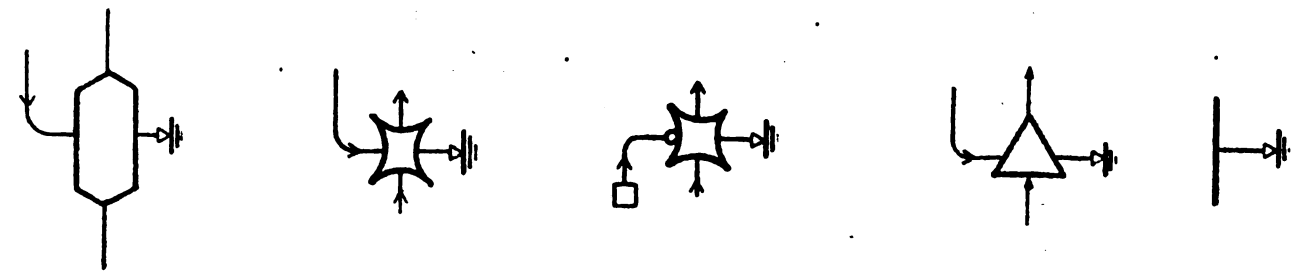


Fig. 2. Símbolos del lenguaje de sistemas de Odum (1971) basado en el comportamiento de la energía. (según Lugo, 1987)

simbolo cambien su nombre a "multiplicador" y "receptor". Se utiliza para representar procesos que pueden mover materia o energía en dos direcciones. La fuerza matriz del proceso determina la dirección de flujo. Ejemplos: el movimiento de las mareas bajo la acción de la Luna, el movimiento de substancias químicas bajo la influencia de mareas, el movimiento vertical del plancton y nutrientes en el mar, o el intercambio de gases entre cuerpos de agua y la atmósfera.

i. Interruptor. Este símbolo denota procesos que tienen estados activados y no activados. El flujo no es posible en ausencia de la señal de activación. Cuando esta señal está presente, el interruptor se activa y es posible el flujo de materia o energía. Ejemplos de la aplicación de este símbolo: el interruptor eléctrico o la germinación de una semilla.

j. Interruptor activado por un límite. Este símbolo se comporta de la misma manera que el interruptor anterior, pero antes de ser activado, el factor activador tiene que exceder un límite crítico característico del proceso que se está modelando. Por ejemplo, el flujo de agua sobre una represa tiene que exceder el volumen de la represa antes de que ocurra. Del mismo modo, el agua no se escapa del suelo, hasta que no se excede su capacidad de retención. Al utilizar este símbolo hay que indicar las condiciones que deben satisfacerse para que funcione el interruptor.

m. Amplificador con ganancia constante. Este símbolo describe sistemas con energía limitada, que se utiliza para aumentar el insumo por un factor constante (el factor de amplificación). Esto causa crecimiento exponencial. Una población que tenga una fuente de alimentos y espacio ilimitado puede sostener una razón de reproducción constante y crecimiento exponencial.

n. Pérdida de calor y flujos en estado estable. Se utilizan dos símbolos: la línea fecha, con el símbolo de tierra que se utiliza en electricidad, representa la pérdida de calor necesaria para hacer posible cualquier proceso irreversible (unidireccional).

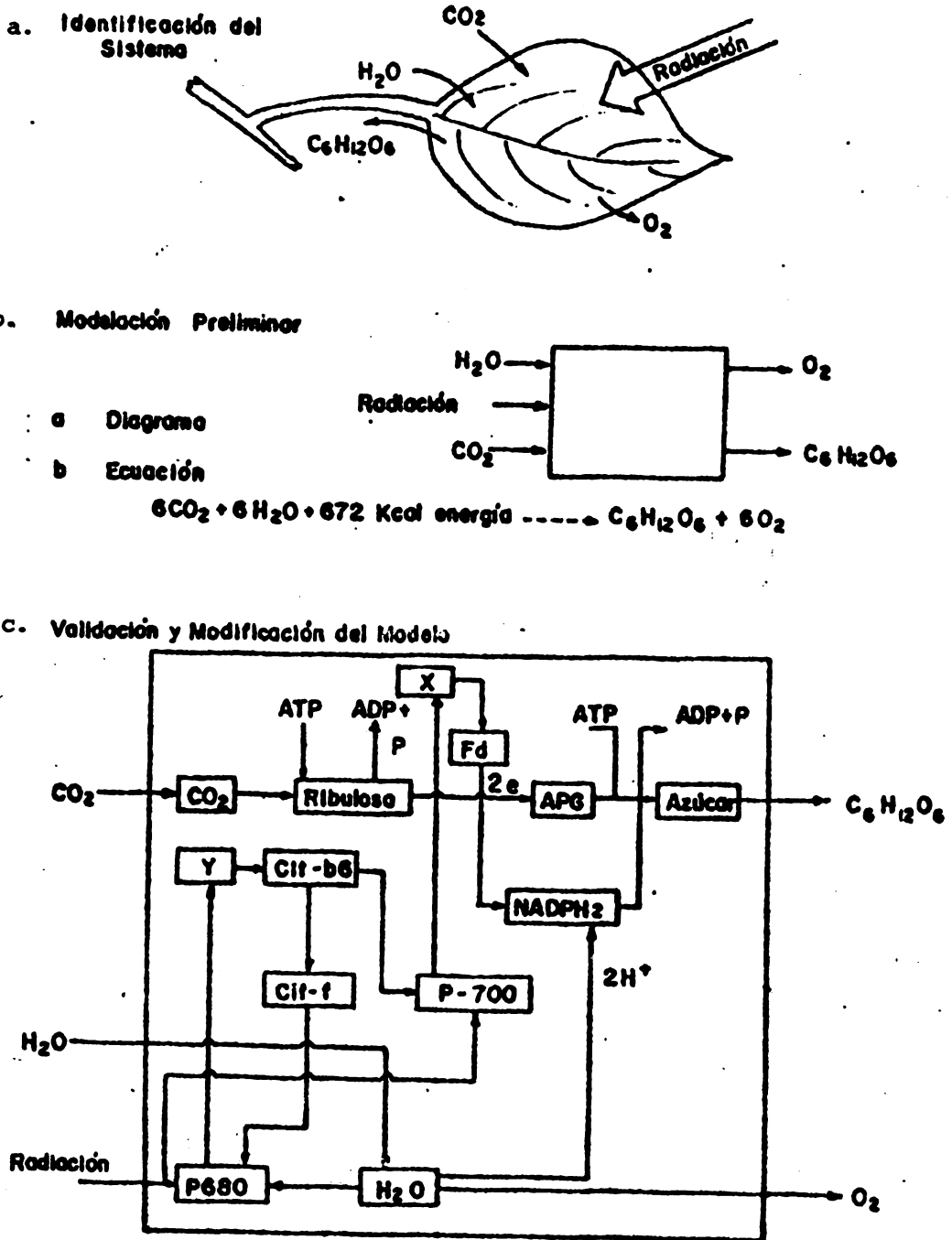


Figura 1.3 El desarrollo de un modelo del proceso de fotosíntesis. (Adoptado y resumido de Wilson y Loomis, 1968). Tomado de Hart, 1981).

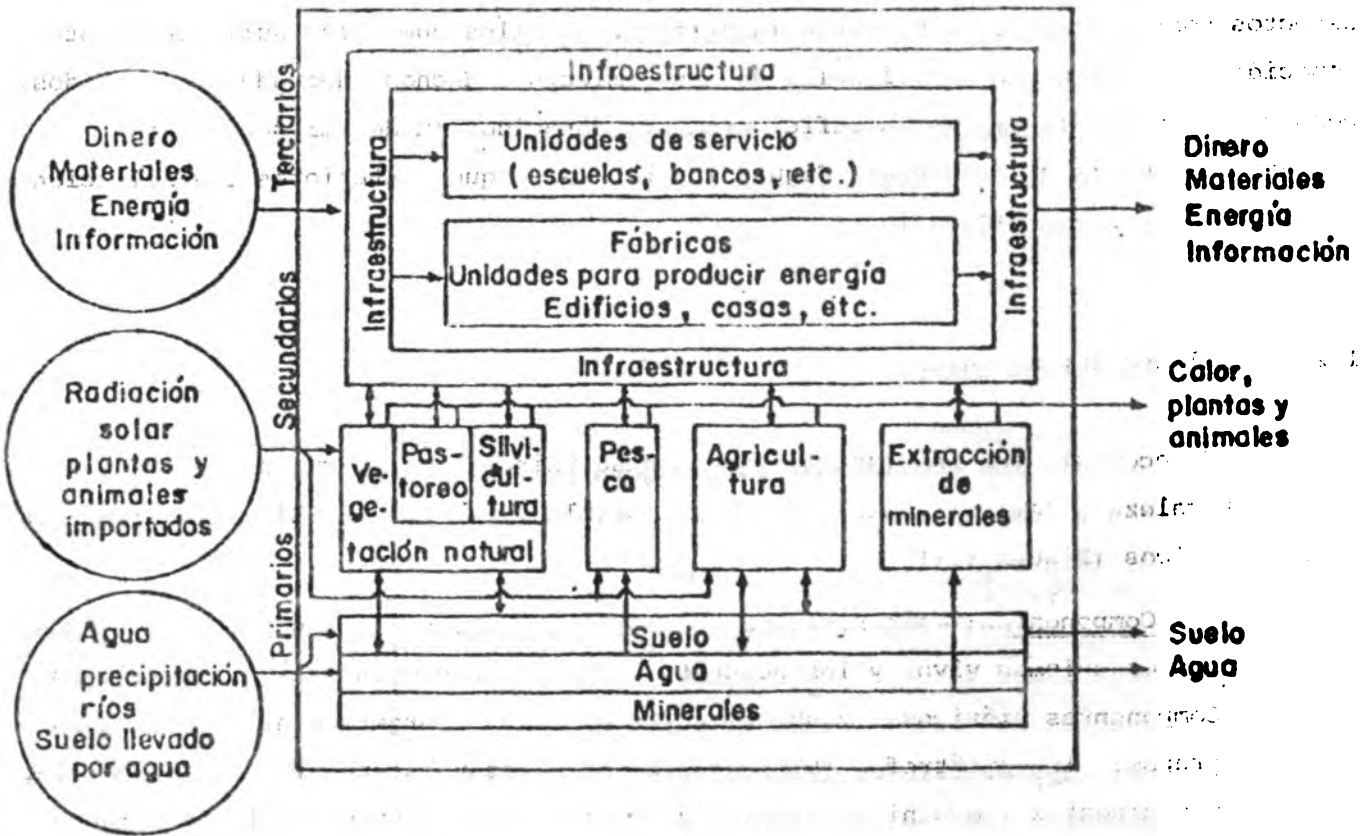


Figura 1.4 Una región como un sistema que incluye componentes físicos; bióticos y socio-económicos que interactúan formando procesos primarios (silvicultura, agricultura, etc.), secundarios (industria, construcción, etc.), y terciarios (escuelas, bancos, etc.). (Según Hart, 1980).

Las técnicas de modelado constituyen una valiosa herramienta en la investigación de sistemas, dado que permiten formular las relaciones entre los componentes de un modo inequívoco, tal como fue interpretado por el investigador; destacan los aspectos sobresalientes, y permiten identificar aquellos que están suficientemente conocidos, de otros con deficiencias de conocimiento. Hechos adecuadamente medidos, pero cuyo proceso íntimo no es suficientemente conocido, puede ser representado mediante el modelo de caja negra Figura 1.3.b. hasta que posteriores investigaciones dilucidan el proceso Figura 1.3.c.

1.2. El ecosistema natural

En ecología los ecosistemas son la base unitaria de estructura y funcionamiento de la naturaleza y como sistemas que son posible reconocer en ellos los elementos característicos (Figura 1.1).

a. Componentes: son bióticos y abióticos, incluyendo los primeros a todos los organismos vivos y los segundos al resto de componentes del ecosistema. Componentes bióticos: desde el punto de vista energético hay dos grandes grupos: los autótrofos (PRODUCTORES) que captan la energía de origen solar y compuestos inorgánicos simples y a través de la fotosíntesis elaboran sustancias orgánicas complejas ricas en energía potencial que garantizan su funcionamiento metabólico. Este grupo incluye las plantas.

Los heterótrofos por su parte no son capaces de fabricar sus fuentes de energía propias y dependen enteramente para esto de los excedentes que quedan de lo producido por las plantas una vez satisfechas sus necesidades. Los animales (CONSUMIDORES) a partir de esos productos elaboran su protoplasma específico y los DESCOMPONEDORES, a partir de los complejos orgánicos tanto de plantas como animales obtienen la energía para su funcionamiento, transformando esos productos en sustancias inorgánicas simples disponibles nuevamente para las plantas.

Componentes abióticos: en los ecosistemas terrestres se reconocen los climáticos, fisiográficos, geológicos y edafológicos.

Los componentes climáticos son la energía solar que en su forma lumínica sustenta la fotosíntesis y en su forma térmica es responsable de los cambios

de corto y largo plazo de la temperatura; el agua que en su estado líquido entra al ecosistema como precipitación o florecimientos subterráneos de agua y en su estado gaseoso es la Humedad Relativa relevante en la provocación de fenómenos atmosféricos (formación de lluvias por ejemplo) el intercambio gaseoso de las plantas con el ambiente; el viento, importante en procesos biológicos como la distribución de especies, la polinización y la destrucción física de organismos y finalmente el aire con sus concentraciones de oxígeno, nitrógeno y CO₂ entre otros.

Los componentes fisiográficos, muy ligados a los climáticos, se refieren a la topografía del terreno, su elevación (la temperatura disminuye 0.6°C por cada 100 mts de altura), su pendiente y su orientación geográfica (que define las horas de exposición a la luz solar).

Los componentes edafológicos y geológicos definen las características físicas del suelo (su granulometría y retención de agua), las químicas, (pH, materia orgánica, minerales primarios y secundarios) y los biológicos (riqueza biótica).

b. Entradas: son los aportes, físicos, químicos o biológicos que contribuyen a la estructura y funcionamiento del ecosistema. La luz, la precipitación, los animales migratorios o el agua de inundaciones pueden considerarse como entradas a los ecosistemas.

c. Salidas: son los productos, desechos o partes del ecosistema que lo abandonan por cualquier vía. La energía térmica que se desprende de los cuerpos calientes, las aves que migran a nuevos sitios, el agua que se pierde por escorrentía o infiltración profunda, el suelo que se pierde por erosión son algunas de las salidas del ecosistema.

d. Límites: en los ecosistemas naturales usualmente son difíciles de establecer a no ser que halla un rasgo ambiental muy definido (un río, un peñazco, etc.) sin embargo en el modelo del ecosistema si pueden aparecer según sean los intereses del investigador.

e. Interrelaciones: la interdependencia entre los componentes del ecosistema determina sus características. El flujo de energía, el ciclaje de materiales, la descomposición, la sucesión y los mecanismos homeostáticos aparecen entre los más importantes procesos en los ecosistemas.

Respecto al flujo de energía hay algunos conceptos de importancia que deben aclararse. La producción se refiere a la cantidad de biomasa que hay en determinado momento y la productividad al proceso fotosintético que ocurre en los cloroplastos de las plantas por unidad de tiempo y área. El costo energético de mantener en funcionamiento a los productores se expresa como gastos de respiración celular, que sustraídos a la cantidad total de energía radiante convertida a energía química (Productividad Primaria Bruta) resulta en la Productividad Primaria Neta. Este excedente es el que queda disponible a los consumidores que tendrá distinta eficiencia en su uso (Productividad Secundaria).

Estos conceptos son aplicables a todos los ecosistemas y sistemas de producción agrícola, pecuaria o forestal. Así en la Figura 1.5 se presenta un modelo multiplicado de un ecosistema en función de estudios realizados en bosques naturales de los Andes de Venezuela (GRIMM y FASSBENDER, 1981). El estudio citado puso énfasis en e ciclos nutritivos. En la Figura 1.5 se esquematizan los procesos de producción de materia verde, traslocación y descomposición, paralelamente al de escurrimiento del agua en el ecosistema. El ingreso de agua y materiales al sistema ocurre con la precipitación y el egreso esta representado por la percolación. No se analiza el flujo de energía por razones de simplificación, y no existe transportación de materiales por aprovechamiento forestal.

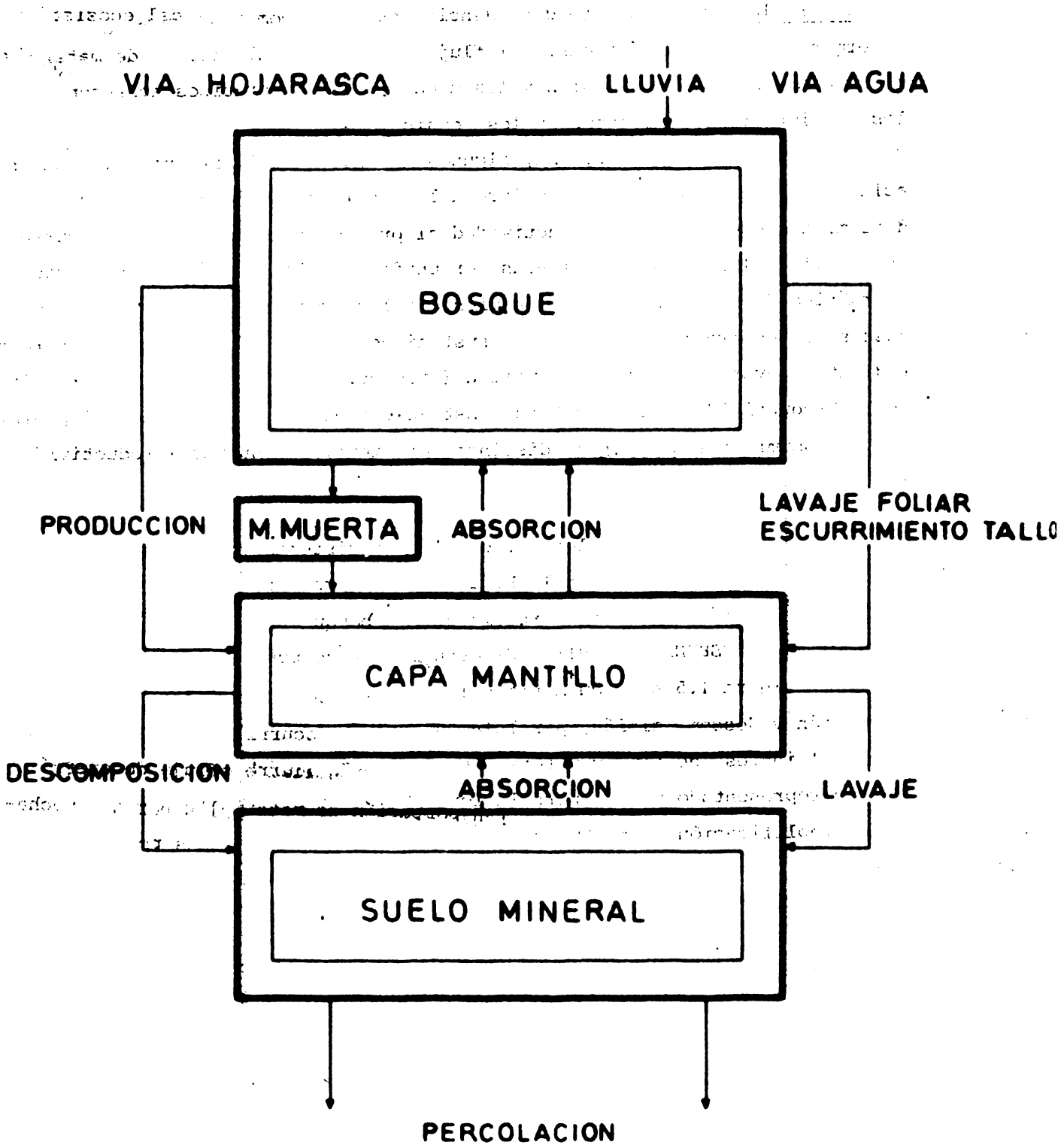


Fig. 1.5. Esquema básico de los compartimentos de un ecosistema forestal y sus procesos de transferencia y cambio.

1.3 El sistema agroforestal

El término de sistema de producción agroforestal se refiere a las técnicas de uso del suelo con combinaciones de cultivos anuales (granos básicos, hortalizas, pasturas, etc...) y plantas perennes (árboles maderables, frutables, resinosos, etc...) en arreglos espaciales y temporales para optimizar la producción.

Los sistemas agroforestales manejados por el hombre mediante la selección de las especies productoras, el control de los organismos consumidores que compiten con él y, en algún grado, el control de los factores abióticos, todo ello con miras a aumentar la cosecha, disminuir su variación en el tiempo y minimizar el insumo en agroquímicos. El fundamento de estos sistemas se halla en el mejor aprovechamiento de los recursos en el espacio vertical, tanto aéreo como subterráneo (Figura 1.6).

La selección de especies que serán asociadas en un sistema agroforestal deberá ser cuidadosa; deben buscarse mutualismos y evitarse alelopatías o fuertes competencias. En los sistemas agroforestales, este aspecto, el de la selección de especies es el que reviste mayor grado de manipulación. Los factores abióticos son por lo general poco manejables y entre estos, los factores edafológicos son los que permiten un manejo más acentuado, a través del desmonte, quema, roturación del suelo, encalado, fertilización y del riego y drenaje. Los factores climáticos son de más difícil manipulación, aunque actualmente se conocen métodos para provocar lluvias, mediante la siembra de núcleos de condensación (ioduro de Ag), esto no es una práctica generalizada; similar comentario es válido para el control del granizo y de la helada, los cuales se justifican en cultivos de alto precio. El viento es susceptible de algún control mediante la construcción de cortinas rompevientos. La radiación solar excesiva y las altas temperaturas foliares pueden ser atenuadas mediante árboles de sombra; en general antes de que el control de los factores climáticos, la búsqueda está centrada en la selección de especies adaptadas y, cuando es posible, en la selección del período del año más favorable. Ciertos factores topográficos como la pendiente, pueden ser modificados mediante la construcción de terrazas.

En los sistemas agroforestales, especialmente en los trópicos húmedos, el ciclo de la materia reviste vital importancia para mantener la fertilidad de los suelos. En estos sistemas, la exportación de materia por cosecha es relativamente pequeña respecto a la biomasa total remanente, si se compara con la mayoría de los monocultivos. En

Fig. 1.6 se representa un sistema agroforestal de cacao, con poró como árbol de sombra que aporta nitrógeno y con plátano, que mantiene poblaciones de insectos útiles en la polinización del cacao; el modelo muestra los procesos involucrados en el ciclo de la materia.

Restado el gasto respiratorio de animales, plantas y descomponedores de la energía total fijada se obtiene la Productividad Neta de la Comunidad.

El ciclo biogeoquímico resulta de las interacciones de los componentes, de sus reservas, el transporte de nutrientes por los distintos compartimentos. La velocidad del ciclaje está regulada por el componente biológico que a su vez responde a la intensidad de los factores ambientales.

La descomposición es el eslabón que une los nutrientes contenidos en los restos de plantas y animales con el suelo en donde quedan disponibles para ser reutilizados. La biota que participa en la liberación de tales sustancias es muy variada: insectos, bacterias, algas, hongos y virus. La sucesión es el cambio estructural y de funcionamiento que sufre un ecosistema con el paso del tiempo y que lo conduce a una maximización en el uso de los recursos disponibles en el ambiente. Su rapidez y rumbo depende de factores muy diversos.

Los mecanismos homeostáticos o de regulación que se establecen son variados: competencia, alelopatía, relaciones simbióticas positivas o negativas, sinecrosis y alolínea.

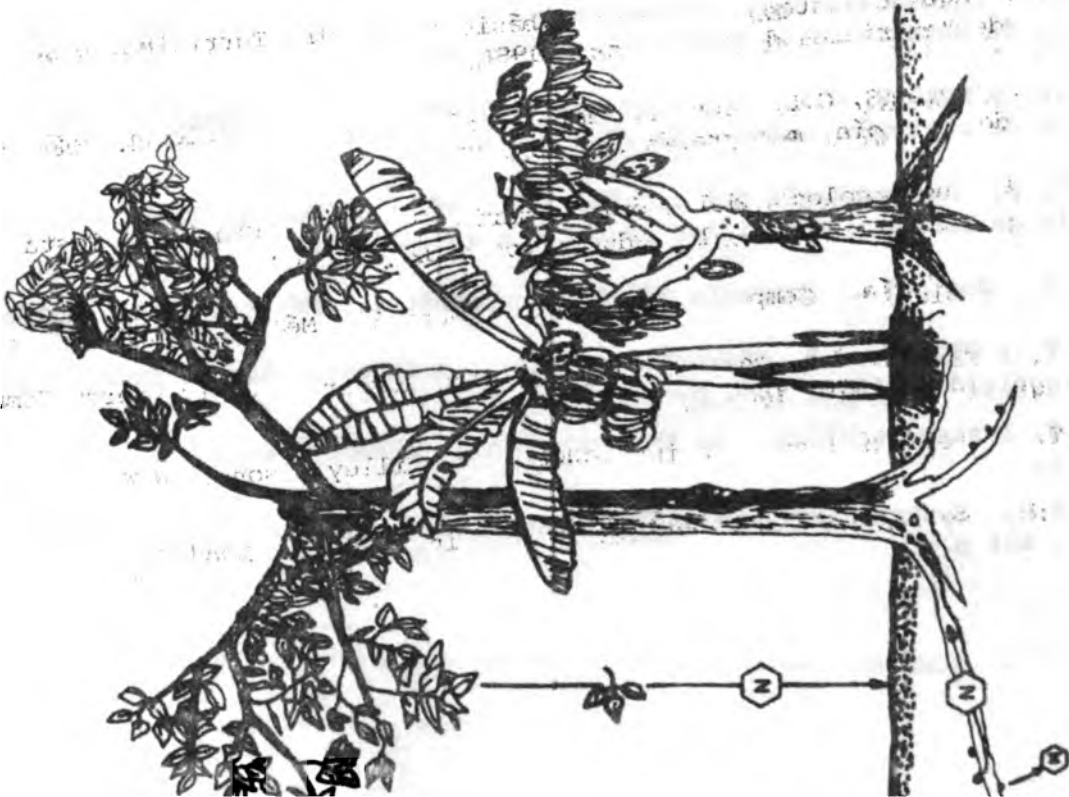
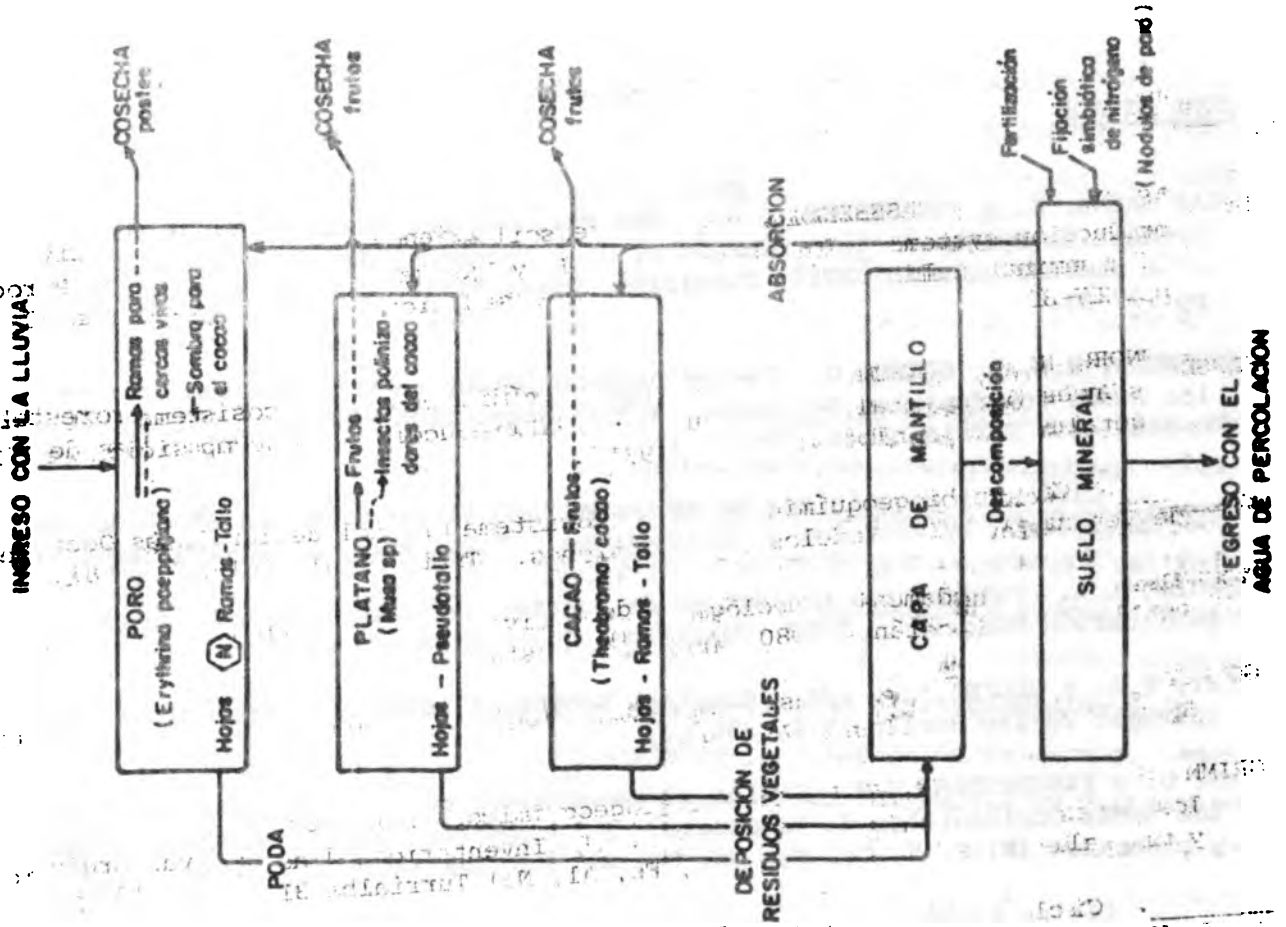


Figura 1.6 Sistema de producción agroforestal Cacao- plátano-poró.

LITERATURA CITADA

1. DE LAS SALAS, G. y FASSBENDER, H.W.: The soil science basis of agroforestry production systems. In: Heuveldop, J. y Lagemann, J.: Agroforestry Proceedings of a seminar held in CATIE, Turrialba, Costa Rica, 23-February - March 3, 1981. pp. 27-33.
2. FASSBENDER, H.W. y GRIMM, U. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. II Producción y descomposición de residuos vegetales. Turrialba 31, 39-47, 1981.
3. _____. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. IV Modelos y conclusiones. Turrialba 31, 101-108, 1981.
4. FOURNIER, L.A. Fundamentos ecológicos de cultivo del café. IICA Zona Norte. Publicación miscelánea 1980, Turrialba, Costa Rica. 29 p.
5. GOLLEY, F.B. y MEDINA, E. eds. Tropical Ecological Systems. Ecological Studies N. Springer Verlag Berlin 1975, 398 p.
6. GRIMM, U. y FASSBENDER, H.W. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. I Inventario de las reservas orgánicas y minerales (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Al, Na) Turrialba 31, 27-36, 1981.
7. _____. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. III Ciclos hidrológicos y translocación de elementos químicos con el agua. Turrialba 31, 89-99, 1981.
8. HART, R.D. Agroecosistemas, conceptos básicos. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Serie de Materiales de Enseñanza. 1980, 211 p.
9. LUGO, A.E. y MORRIS, G.L. Los sistemas ecológicos y la humanidad. OEA, Washington. Serie de biología, monografía 23 1983, 82 p.
10. MONTALDO, P. Agroecología del trópico americano. IICA, San José, Costa Rica. Serie de Libros y Materiales Educativos 1982, 205 p.
11. ODUM, E.P. Ecología. Compañía Editora Continental. México, 1965. 201 p.
12. ODUM, H.T. y PIGEON, R.F. eds. A tropical rain forest. Atomic Energy Commission Springfield VA 1970, 1660 p.
13. ODUM, H.T. Systems ecology: An introduction J. Willey + sons. New York. 1983, 644 p.
14. PATTEN, B.C. Systems analysis and simulation in ecology. Academic press. N.York. 1975, 601 p.

SEGUNDO CAPITULO

EL CICLO DEL AGUA

2.1. Ciclo del agua en la naturaleza

Uno de los grandes ciclos en la naturaleza es el del agua; ella se mueve constantemente desde la atmósfera a la tierra; pasa por los ecosistemas - ^{biósfera} vegetación, animales y suelo - y por la corteza terrestre a los océanos y luego regresa a la atmósfera. Dentro de este ciclo hidrológico -dirigido por la energía del sol y la gravedad- se tiene la conexión entre la atmósfera, litósfera e hidrósfera que hace en última instancia posible la vida en la biósfera. El ciclo hidrológico en un ecosistema es muy importante, ya que el agua determina la fisonomía de la vegetación y la distribución de animales y es un factor de la formación del suelo. Además el agua desempeña, como solvente universal, un papel imprescindible en la translocación de elementos químicos.

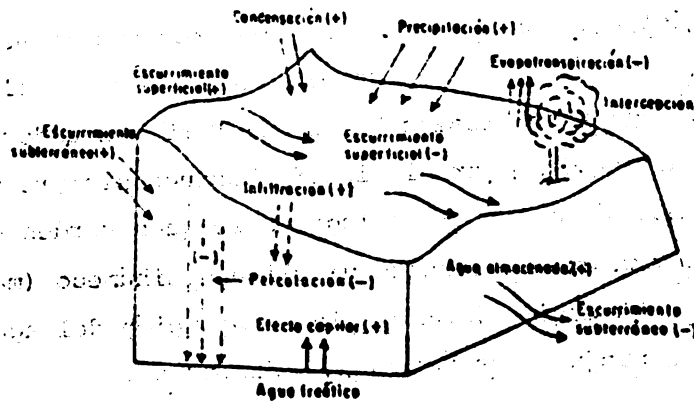


Figura 2.1 Ciclo del agua en la naturaleza (GAVANDE, 1972).

El agua es determinante en la distribución de las plantas a nivel mundial. La forma más conocida en nuestro medio de clasificar las unidades de vegetación, es mediante las zonas de vida. La clasificación de las zonas de vida de HOLDRIDGE, (1979) se basa en el conocimiento de los factores climáticos de temperatura y precipitación del área que se desea clasificar. Así, la cantidad promedio de precipitación total anual determina provincias de humedad. Bajo condiciones tropicales se consideran las siguientes: (HOLDRIDGE (1979)):

<u>límites en mm</u>	<u>provincia de humedad</u>
menos de 125	Desecado
125 a 250	Superárido
250 a 500	Perárido
500 a 1000	Arido
1000 a 2000	Semiárido
2000 a 4000	Sub-húmedo
4000 a 8000	Húmedo

Estas provincias de humedad están condicionadas a la relación de evapotranspiración potencial del lugar, tal como puede verse en la Figura 2.2.

La relación del agua con la vegetación se ve directamente mediante la relación de los diferentes tipos de vegetación que ocurren en un lugar que posee un climadiagrama característico. En la Figura 2.3 se presenta la asociación que existe entre la temperatura y humedad (climadiagrama) y la vegetación climax que se desarrolla en base a un ejemplo de áreas tropicales bajas del Perú y Ecuador. Un clima perhúmedo y euhúmedo (sin meses secos) da lugar al tipo de bosques siempre verdes tropicales; un clima subhúmedo (con corta época seca) da lugar a bosques verdes estacionales; una región con un climadiagrama que represente un clima semihúmedo (más de medio año seco) da lugar a bosques secos caducifolios; con la disminución del agua, bajo condiciones de aumento de aridez se produce una vegetación desértica.

DIAGRAMA PARA LA CLASIFICACION DE ZONAS DE VIDA

POR L. R. MOLDRIDGE

REGIONES LATITUDINALES

PISOS ALTITUDINALES

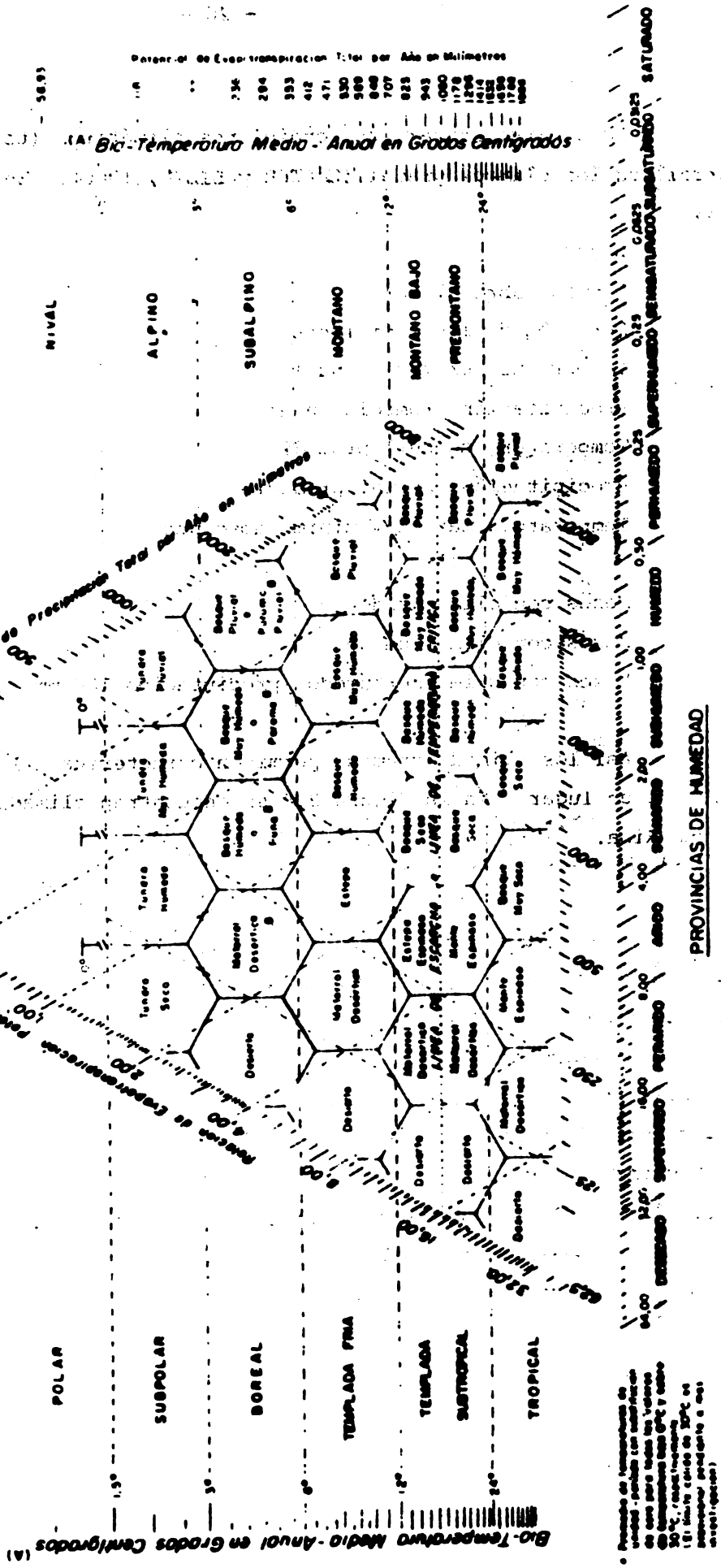


Fig. 2.2 Diagrama para la clasificacion de las zonas de vida del mundo.

• Promedio de temperatura de verano - período con máxima actividad de vida para todas las formas de vida.
 • Temperatura mínima 0°C y máxima 50°C.
 • El límite inferior de 30°C es el promedio promedio a los niveles oceánicos.

• El límite superior tropical superior

Para caracterizar las condiciones climáticas (temperatura y lluvia) se han desarrollado los climadiagramas (WALTER y LIETH, 1960). En ellos se tiene información sobre:

Lugar

Altura sobre el mar

Duración de las mediciones

Temperatura promedio anual

Precipitación promedio anual

Temperatura mensual promedio

Precipitación mensual promedio

Temperatura máxima y mínima absoluta

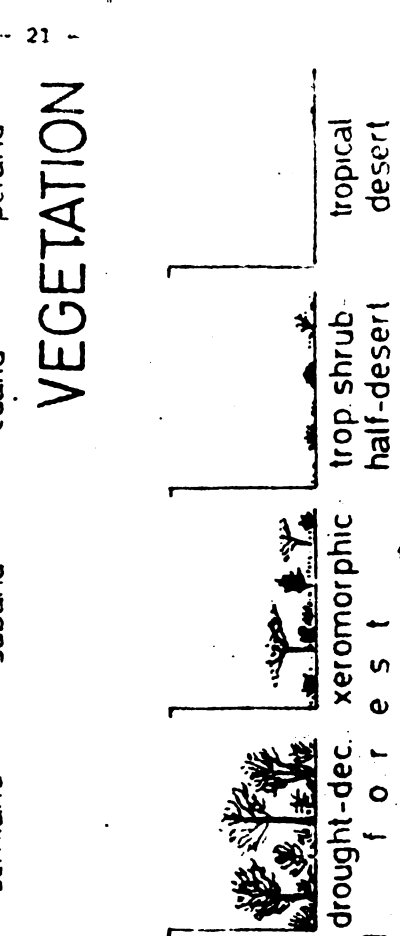
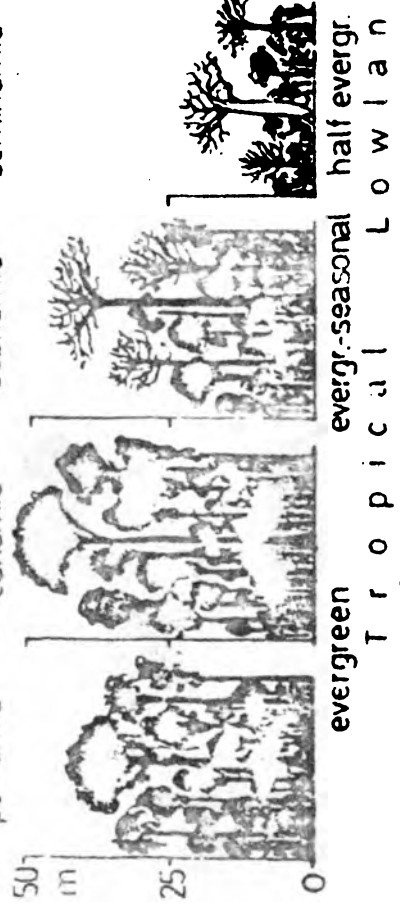
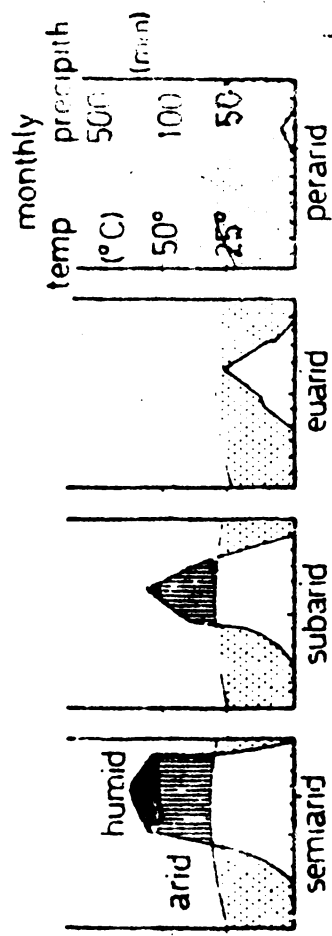
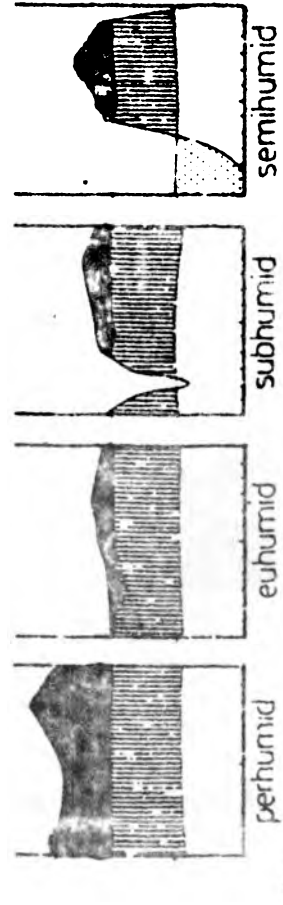
Meses con clima árido

Meses con clima húmedo

Meses con clima perhúmedo (precipitación 100 mm, representación logarítmica)

Así los climadiagramas permiten caracterizar el régimen de temperatura y lluvias de un lugar. En la Figura 2.4 se encuentran climadiagramas de algunos lugares de Costa Rica.

CLIMATE DIAGRAMS



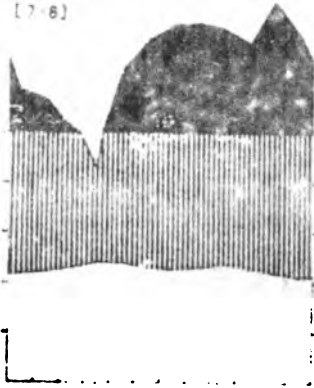
50
m
25
0

VEGETATION

Fig. 2.3 Generalized climate diagrams and vegetation profiles of the natural ecosystems in the tropical lowlands of Peru and Ecuador. (Ellenberg, 1979).

VILLA QUESADA (6.0m) 22.7° 4669

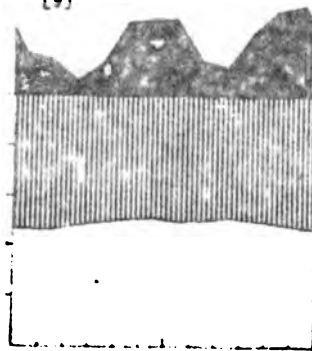
[7-8]



CAIRO (94m)

24.7° 3773

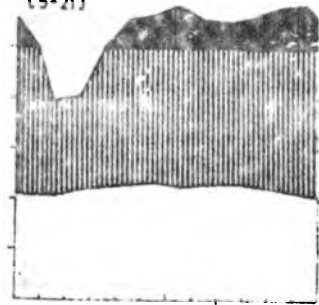
[9]



TURRALBA (621m)

22.0° 2310

[5-21]



TURRUCARES (16-92)

25.4° 1855

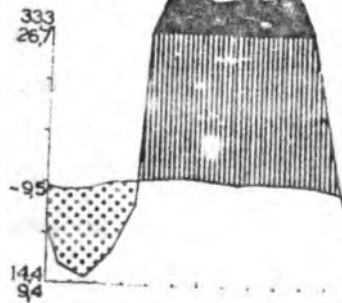
[6-92]



SAN JOSÉ (1135m)

20.2° 1810

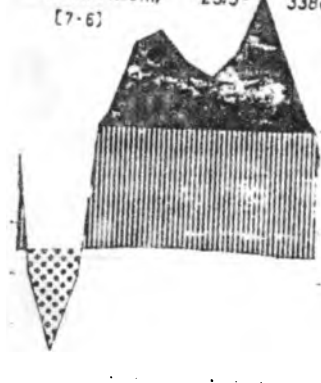
[42]



PARRITA (22m)

25.5° 3380

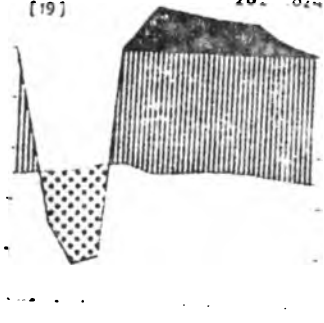
[7-6]



SAN CARLOS

25.2° 1824

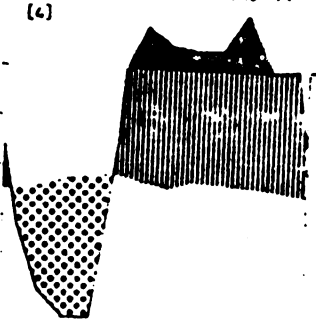
[19]



LA CRUZ (2.6m)

27.0° 1450

[6]



SAN ISIDRO DEL GENERAL

[5-13]

22.7° 3047

(740m)

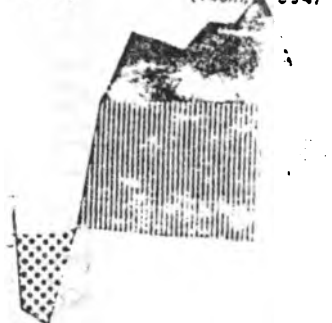


Figura 2.4 Climodiagramas de algunos lugares de Costa Rica segun Walter y Lieth (1960).

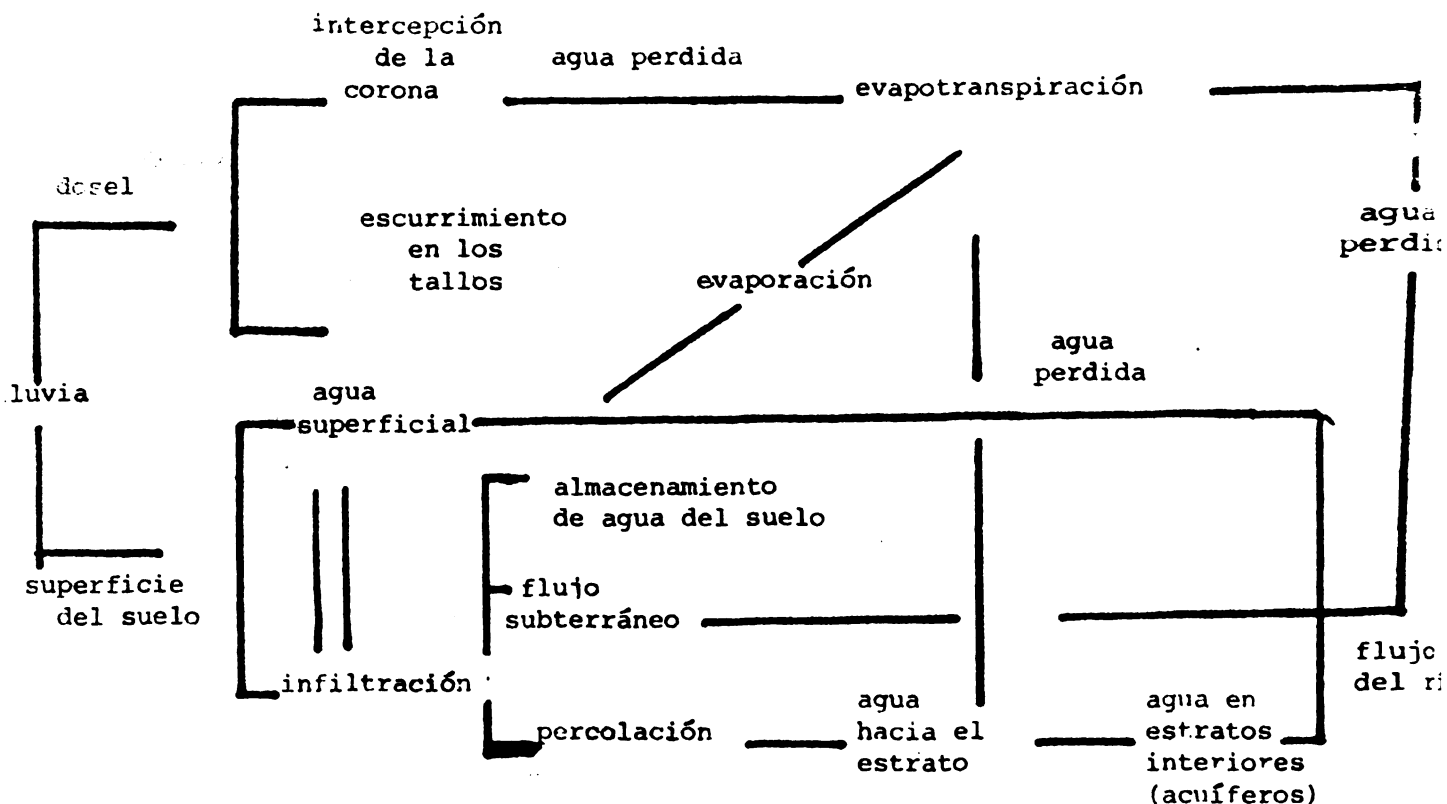
2.2 Ciclo del agua en un ecosistema forestal

El ciclo del agua en ecosistemas forestales ha sido poco estudiado y actualmente se están desarrollando tecnologías apropiadas para ello.

El agua que ingresa al ecosistema depende del régimen de lluvias y está asociada a la posición geográfica de la región, la circulación planetaria de las masas de nubes y aire, temperatura, vegetación y otros factores. Una parte del agua que ingresa al ecosistema forestal es retenida por las hojas de la vegetación (intercepción), la cual se evapora en función de la temperatura y la radiación solar. Otra parte del agua que llega al rodal escurre de las hojas o a lo largo de los tallos y llega por gravedad a la superficie de la capa de mantillo del suelo; esta agua puede escurrir sobre la superficie del suelo o percolar en el mismo. El agua almacenada en el suelo, en función de sus características de textura y estructura, representa la reserva de donde las plantas absorben las cantidades necesarias para sus ciclos energéticos y nutrimentales; una parte del agua almacenada en los tejidos vegetales difunde a través de las membranas celulares y pasa a la atmósfera en forma de vapor como agua de transpiración. Cuando el agua que ingresa al suelo sobrepasa la capacidad de retención en el mismo, y en función de la gravedad pasa a la capa freática, egresa del ecosistema.

El paso del agua a través del perfil de un bosque se puede ilustrar con el siguiente modelo (KUNKLE y THAMES, 1976).

La cuantificación del agua en cada uno de estos pasos es posible llevarla a cabo mediante el uso de aparatos (Figura 2.6). El agua que cae sobre la superficie del bosque se mide colocando un pluviómetro en un área despejada del bosque a modo que la superficie receptora del pluviómetro forme un ángulo máximo de 45 grados con la copa de los árboles circundantes. El agua que cae a través de las copas, ya sea directamente o por goteo de las hojas se estima colocando los pluviómetros debajo del dosel del bosque. El agua que escurre por los tallos se encuentra influenciada por la posición de las ramas en relación con el tronco principal y se puede estimar colocando recolectores de agua alrededor del fuste. El agua interceptada por las copas se puede estimar restando a la



precipitación total, la suma del agua de escurrimiento de los tallos y del agua que cae a través de las copas. El movimiento del agua en el suelo se hace mediante el uso de placas lisimétricas a diferentes profundidades. Los resultados obtenidos en un bosque montano andino en Venezuela se presentan en la Figura 2.6.

2.3. El agua en el suelo

El suelo es un componente abiótico de los ecosistemas y de los sistemas de producción. Consta de tres fases: sólida, líquida y gaseosa. En condiciones ideales, la fase sólida constituye de un 40-50% de los cuales de un 3-5% constituye la materia orgánica y el resto materia inorgánica. La fase líquida y la fase gaseosa constituyen el resto del suelo y son intercambiables; tanto la fase líquida como la gaseosa dependen de porosidad del suelo. La relación que guarda una con respecto a la otra, depende fundamentalmente de las lluvias.

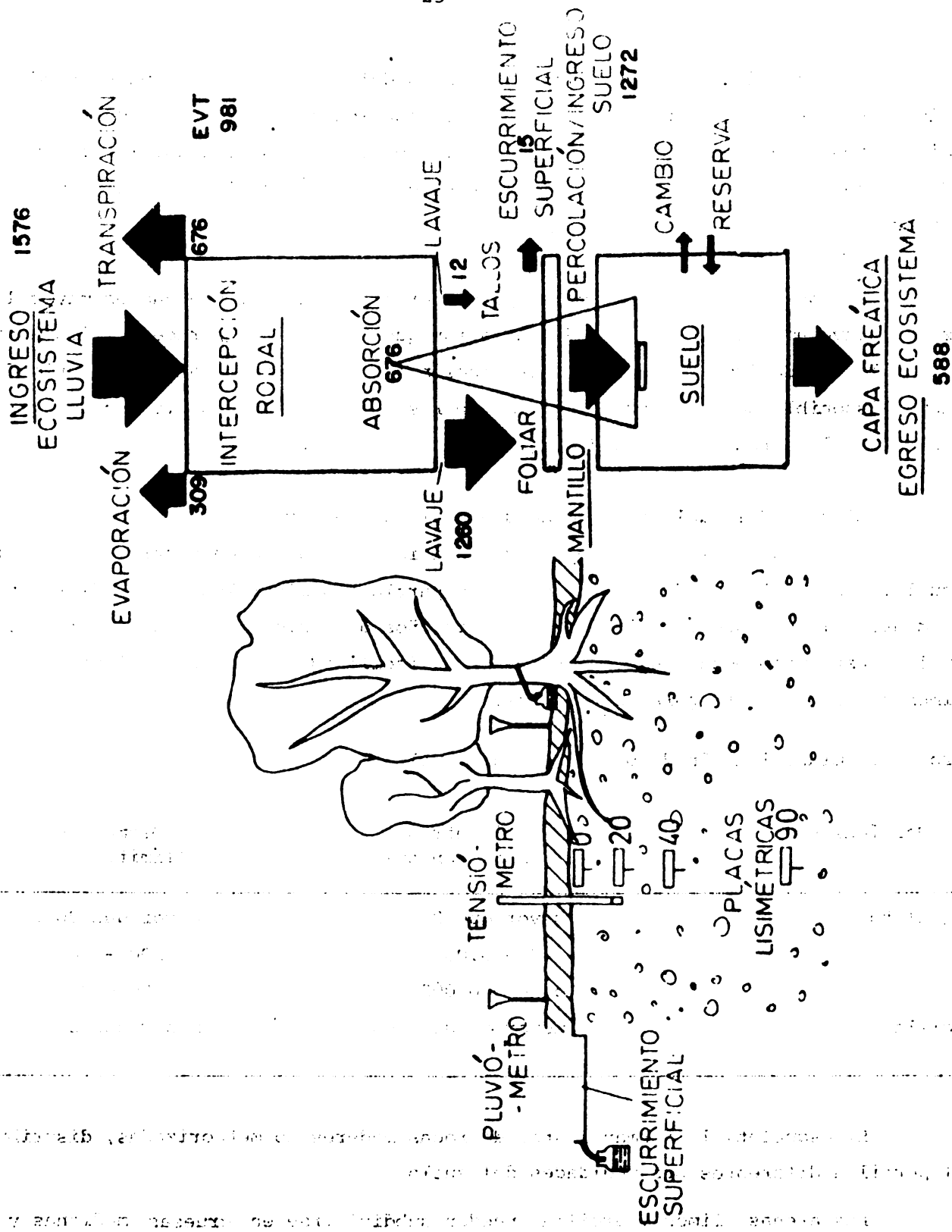


Fig. 2.5. Representación esquemática de las mediciones de flujos de agua en el ecosistema (sin escala)

La fase líquida o agua llena los poros del suelo, y esta agua se puede localizar en tres tipos de poros diferentes que son los macroporos, los mesoporos y los microporos. Los macroporos tienen un diámetro mayor de 50 micras; los mesoporos una dimensión que oscila entre 50 y 2 micras y los microporos tienen un diámetro menor de 2 micras.

El agua en los macroporos no puede ser retenida debido a que es mayor la fuerza de gravedad que las fuerzas de retención que ejercen las paredes de los macroporos por lo que da lugar al agua de percolación o de gravedad. La mayor cantidad del agua disponible se encuentra en los mesoporos y el agua en los microporos es retenida con tal fuerza que no es disponible para las plantas.

El agua del suelo depende de una serie de factores

La textura del suelo es la disposición con que se encuentran las partículas del suelo. Está relacionada al tamaño de las partículas minerales. Se refiere específicamente a la proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de un suelo. Esta propiedad ayuda a determinar la facilidad de abastecimiento de nutrimentos, agua y aire para las plantas.

Cuadro 2.1. Clasificación de partículas del suelo

Partículas	Diámetros (límites en cm)	Diámetros (límites en mm)
Esqueleto	mayor que 2	mayor que 2000
Arena	2 - 0.06	200 - 60
Limo	0.06 - 0.002	60 - 2
Arcilla	menores que 0.002	menor que 2

El esqueleto lo forman restos de rocas maderas no meteorizadas, distribuidos en el perfil a diferentes profundidades del suelo.

Las arenas, limos y arcillas pueden subdividirse en gruesas, medianas y finas.

El análisis mecánico de los suelos permite determinar las partículas sólidas que se presentan en sus diferentes tamaños. Este análisis proporciona datos básicos para la clasificación, morfología y génesis de suelos, así como también permite obtener información sobre propiedades físicas tales como: permeabilidad, retención de agua, plasticidad, aereación, etc.

Existen varios métodos para el análisis mecánico de los suelos. El más usado se basa en la ECUACION DE SEDIMENTACION que se fundamenta en la Ley de Stokes. Así se muestrean las arenas, limos y arcillas después de pasar 10 cm de sedimentación en cilindros apropiados. Antes de proceder al análisis mecánico de los suelos, se necesita dispersarlos, es decir, separar por métodos químicos o mecánicos las partículas del suelo que siempre se encuentran formando agregados.

Obteniendo el porcentaje de arena, arcilla y limo se hace uso del triángulo de texturas que da la clasificación textural del suelo (Figura 2.6 GAVANDE,

Cuando se sobrepasa el 60% de contenido de arenas se tiene un suelo típicamente arenoso, al igual que es típicamente arcilloso un suelo con más del 60% de arcillas. Un contenido del 70% de limo da lugar a un suelo típicamente limoso. El suelo franco es el ideal, en donde las partículas de arcilla retienen el agua, mientras que las de arena permiten la aereación. Los suelos franco arenoso, franco arcilloso y franco limosos son aquellos que contienen predominantemente la respectiva clase de partículas.

La estructura es la disposición de las partículas elementales (arena, limo, y arcilla) que forman partículas compuestas, separadas de las contiguas y que tienen propiedades diferentes de las de una masa igual de partículas elementales sin agregación. La estructura afecta el crecimiento de las plantas, debido a su influencia en el aire y agua del suelo; así mismo perturba el movimiento mecánico y brotes y las relaciones de temperatura en el suelo.

Los agregados del suelo determinan las características de absorción de agua del suelo. Algunas sustancias se colocan entre las partículas del suelo, "ligándolas" de cierta forma para formar los agregados, para lo cual debe existir un material que pueda ser agregado.

Se tendrá mayor número de agregados mientras más arcilla haya en el suelo, puesto que estas unen a partículas de mayor tamaño y a la propiedad de las arcillas de hincharse y contraerse con los cambios de humedad. Las arenas y limos no forman agregados sino no se encuentran presentes coloides.

Los agregados de un suelo deben presentar un arreglo tal que permitan una buena distribución de poros y deben ser estables a pesar de los cambios de humedad. Las aristas redondeadas de los agregados permite una mejor distribución de los poros.

La infiltración y la permeabilidad están íntimamente ligadas con el tamaño de los poros y la estabilidad de las unidades estructurales del suelo.

La estabilidad estructural es la capacidad que tienen los granos de retener su forma cuando se humedecen y de permitir el paso del agua a través del suelo.

La velocidad de infiltración inicial disminuirá rápidamente una vez que se llenen las grietas o espacios grandes del suelo, pues este se hincha y la velocidad pueden bajar a valores cercanos a cero. Sin embargo esta velocidad depende también de la textura de los suelos y la cantidad y calidad de sus agregados. Los suelos que están bien estructurados y con un tamaño apropiado de agregados tienen una buena infiltración inicial; que no se reduce a niveles muy bajos cuando se mojan.

La materia orgánica ejerce influencia en propiedades físicas del suelo tales como estructura y afecta directamente en el movimiento y retención del agua, mejorando las características del suelo en relación con estos aspectos. Además de mejorar las condiciones físicas del suelo, la materia orgánica contribuye a mejorar las propiedades químicas ya que aumenta la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

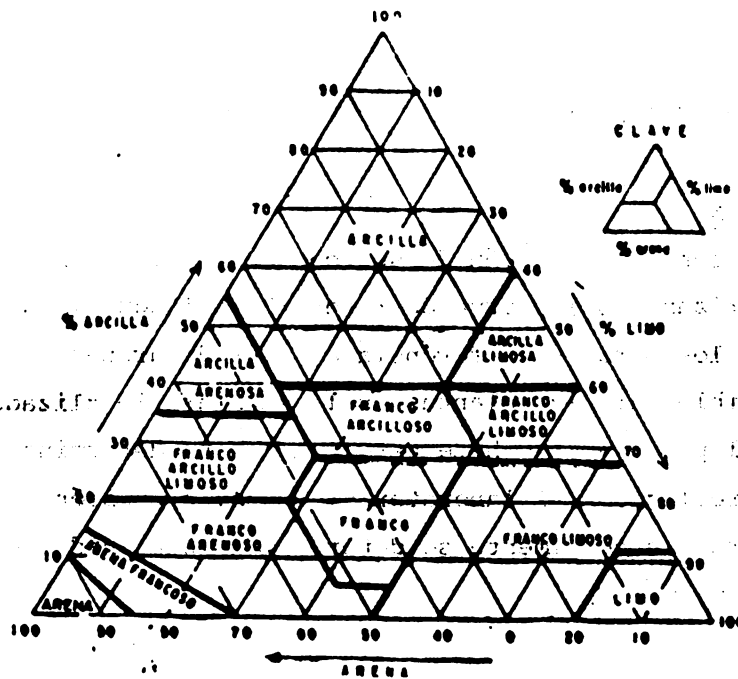


Figura 2.6 Triángulo de texturas. (Garande, 1971)

Cuadro 2.3. Valor aproximado de la evapotranspiración (mm) (Doorenbos y Pruitt, 1977)

Alfalfas	600	1.500
Bananos	700	1.700
Frijoles	250	400
Cacao	800	1.200
Café	800	1.200
Algodón	5	950
Dátiles	900	1.300
Arboles deciduos	700	1.050
Granos (peq.)	300	450
Toronjas	650	1.000
Mafz	400	700
Semillas	300	600
Cebollas	3	600
Naranjas	600	950
Papas	350	625
Arroz	500	800
Henequén	550	800
Sorgo	300	650
Sojas	450	825
Remolachas	450-850	
Caña de azúcar	1.000	1.500
Camotes	400	675
Tabaco	300	500
Tomates	300	600
Vegetales	250-500	

2.4. Constantes de humedad del suelo

Curva de retención del agua

Cada suelo presenta en función de sus características diferentes constantes de humedad que se caracterizan con la curva de retención del agua (Figura 2.7). En función de los tamaños de los poros se diferencia el agua de drenaje, capilar y de adhesión. El agua disponible para las plantas es la capilar, localizada entre el punto de capacidad de campo y el punto de marchite permanente. La determinación de la curva de retención del agua se realiza en el laboratorio con hoyas presión a diferentes valores entre 0 y 100 atmósferas, generalmente se determina el contenido de agua en las constantes de humedad del mismo.

Punto de saturación

Dependiendo de la textura, el contenido de materia orgánica y la composición química; los suelos pueden contener determinada cantidad máxima de agua. Se puede decir que un suelo alcanza un punto de saturación cuando retiene la máxima cantidad de agua que le permiten sus características particulares.

Es importante anotar que la materia orgánica (humus) tiene una elevada capacidad de retención de agua y que algunas sustancias químicas, por sus características higroscópicas, pueden influir también en la capacidad del suelo para retener el agua.

Las arcillas alcanzan su punto de saturación con un 49% de contenido de agua, mientras que los limos llegan a él con un 48% de agua. Las arenas pueden retener menos agua y su punto de saturación se logra con el 45% de agua, aproximadamente.

Capacidad de campo

La capacidad de campo es la cantidad de agua retenida por un suelo, contrastando la gravedad, dejándola drenar libremente, se determina sometiendo las muestras de suelo a una presión de 0.3 bares.

La capacidad de campo es una característica en la que intervienen no solo el suelo en sí sino el drenaje, la evaporación y transpiración; y, el agua que se

agrega. Por esta razón, solo puede determinarse con exactitud en condiciones de laboratorio.

Punto de marchitez permanente

Es el punto en el que las plantas se marchitan permanentemente porque el agua del suelo es retenida de tal forma que no puede ser obtenida por las plantas. Este punto corresponde aproximadamente, al equilibrio de la cantidad de agua del suelo a una presión de 15 bares. Depende más de las características osmóticas de la planta que de las características del suelo.

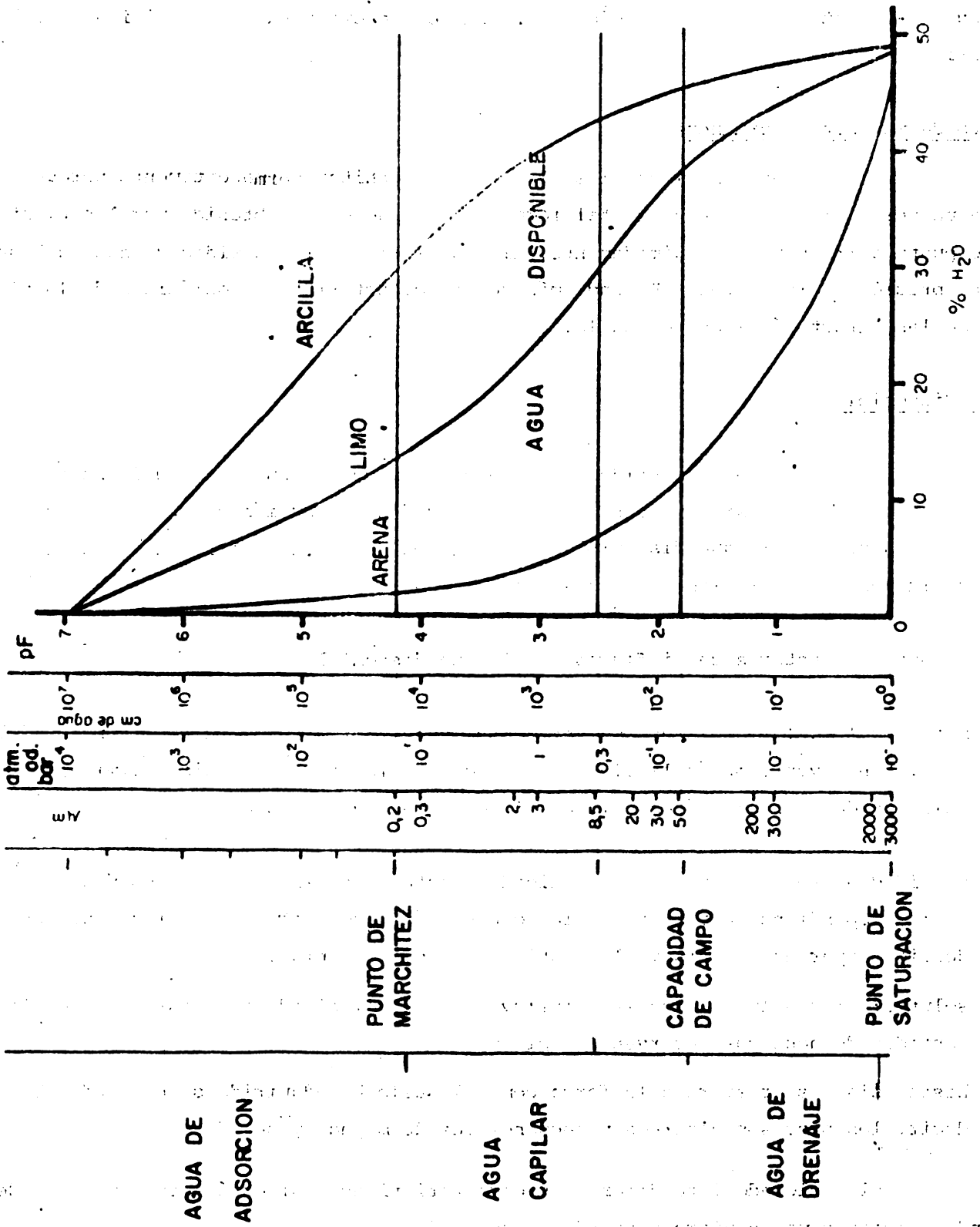
Agua disponible

Se refiere a la cantidad de agua almacenada que puede ser utilizada por las plantas. Aunque existen plantas con capacidad de absorción de agua mayor que otras, en general, el agua disponible es la que pueden obtener las plantas de la cantidad almacenada, entre los 0.3 bares y los 15 bares.

Varios son los factores que influyen en el agua disponible:

- a) matrix del suelo: la clase y cantidad de coloides influyen en la retención del agua. Influyen también la clase y cantidad de iones (composición química) de la solución del suelo; así como la cantidad o grado de agregación.
- b) densidad aparente: indica la cantidad de materia sólida en un volumen dado de suelo, dependiendo por tanto de la composición y compactación. El aumento en la densidad aparente disminuye la cantidad de agua retenida.
- c) solutos: los solutos disueltos influyen en la velocidad, de absorción y en la cantidad de agua que absorben las plantas
- d) histeresis: se refiere a la forma como el suelo ha adquirido su humedad. Es decir, los procesos alternos y secuenciales de mojado y secado

El suelo adquiere diferentes características de si está seco o mojado, dependiendo también como adquiere y pierde la humedad.



2.5. Movimiento del agua

Existen diferentes formas de movimiento de agua en el suelo

El agua de la precipitación que toca la primera capa del suelo, puede percolar a través del mantillo en parte y, en parte, desplazarse horizontalmente. Este desplazamiento horizontal se llama escorrentía superficial.

Luego que el agua ha percolado por las primeras capas de suelo, al llegar a una capa más dura se desliza horizontalmente. Se llama a esto escorrentía profunda.

El agua que percola a través del suelo llega hasta la capa freática. Al infiltrarse, el agua puede encontrar capas duras de suelo a diferentes profundidades, que impiden la percolación. Estas capas se llaman fragipanes. El agua freática suele llamarse también de drenaje. Si el agua permanece en el suelo se le llama de inundación, produce características anaeróbicas (gley) y generalmente limita el desarrollo radicular.

Las escorrentías superficiales y profundas son fenómenos ligados íntimamente a la erosión de los suelos.

La erosión es el proceso de separación y transporte de materiales del suelo por los agentes de la erosión como el agua y el viento. Se ve afectada por factores tales como la capacidad de absorción y retención de agua por los suelos, la condición de la superficie y la infiltración, la permeabilidad del suelo y la facilidad de dispersión de sus partículas; así como también por el tamaño de las partículas y el grado de agregación del suelo.

Dependiendo de la cobertura vegetal, las características de los suelos y otros factores como la forma del relieve, inclinación, etc..., la pérdida de suelo por efecto de escurrimientos puede afectar enormemente su productividad.

2.6. El balance hídrico

Para establecer el balance hídrico de un ecosistema o sistema de producción agrícola, pecuario o agroforestal es necesario conocer la precipitación y la evapotranspiración del mismo. Ello implica hacer una evaluación de las ganancias y pérdidas de agua del ecosistema.

Se considera que el balance de agua es la diferencia existente entre el ingreso y egreso de agua a un sistema. Esta agua puede observarse, seguirse, medirse, etc. y existen para ello diversas técnicas. Para estimar el balance hay bastantes fórmulas,

$$P = EVT + F + S$$

En donde:

P = precipitación

EVT = Evapotranspiración

F = Flujo del agua

S = Cambio de contenido de humedad en el suelo

El balance hídrico puede ser estimado mediante varios métodos: uno de ellos es el método del estudio de la radiación neta. Se determina la radiación neta y se calcula la evaporación correspondiente.

$$R_n = R_g + R_a - R_{fl} - R_{fc}$$

R_n = Radiación neta

R_g = Radiación global, de onda larga

R_a = Radiación atmosférica, de onda corta

R_{fl} = Reflexión de onda larga

R_{fc} = Reflexión de onda corta

Se hace uso de la relación del calor latente de vaporización, pues se sabe que son aproximadamente 580 calorías las necesarias para evaporar 1 gramo de agua. Haciendo los cálculos respectivos se calcula el agua evaporada.

Otra aproximación del balance hídrico se basa en comparar el agua de precipitación y la evapotranspiración potencial medido en un tanque abierto de evaporación (class A pan). Se representan dos curvas superpuestas y en función de ellas se observan cuales son los meses de sequía o humedad; por otro lado se pueden también evaluar los déficits o superávits de humedad mensual.

Por otro lado se puede calcular el balance hídrico conociendo las curvas de tensión del agua en los suelos, y sabiendo que el agua disponible en el suelo es la diferencia de agua retenida a la capacidad de campo (0.3 bares) y el punto de marchitez permanente (15 bares); se calcula el agua del suelo la cual se compara con la absorción por las plantas.

Para el cálculo del agua retenida disponible del suelo se tiene que considerar las profundidades de los horizontes del suelo y el contenido de esqueletos.

Como un ejemplo se puede calcular el agua disponible de un suelo modal como sigue:

Cuadro 2.2 Cálculo del agua disponible en un suelo modal

Perfil	Profundidad (cm)	% agua retenida	Agua disponible (mmx)	Esqueleto (%)	Agua disponible final (mm)
A	0 - 10	18	18	0	18
B ₁	10 - 40	22	66	10	59.4
B ₂	40 - 100	20	120	50	60
Agua disponible total...					137.4

Con los valores específicos de retención de agua (columna 2) se obtiene el agua disponible en mm, multiplicando el espesor del respectivo perfil (columna 1) expresado en decímetros.

Puesto que los perfiles tienen cierto contenido de esqueleto (rocas) se debe corregir el primer valor de agua disponible, restando el porcentaje de esqueleto

(columna 4) para obtener así el agua disponible final (columna 5). Al sumar los valores de agua disponible en todos los perfiles se obtiene el agua disponible del suelo.

El balance hídrico se puede establecer en función de las lluvias (ganancias) y la evapotranspiración del sistema agrícola, pecuario, agroforestal en estudio. La evapotranspiración es sin embargo poco conocida (Cuadro 2.3).

A manera de ejemplo se ha considerado en el balance hídrico en un suelo modal (agua disponible) 234 mm, las condiciones de lluvia en La Suiza y una evapotranspiración diaria de 6 mm.

Cuadro 1.4. Ejemplo Balance hídrico en un suelo modal (agua disponible 234 mm), bajo las condiciones de lluvia de La Suiza y una evapotranspiración diaria 6 mm).

MES	PRECIPITACION mm	EVT (6 mm/dfa)	BALANCE mm
Mayo	230	186	44
Junio	288	180	108
Julio	249	186	63
Agosto	231	186	45
Setiembre	212	180	92
Octubre	282	186	96
Noviembre	263	180	83
Diciembre	280	186	94
Enero	150	186	-36
Febrero	101	168	-67
Marzo	59	186	-127
Abril	135	180	-45

Así se observa que con el método estimativo fisiológico-edáfico se puede determinar el balance del agua en un sistema de producción.

Otras técnicas están y basadas en determinaciones gravimétricas de la humedad del suelo. Utilizando *tensiómetros* de mercurio calibrados con la curva de tensión de agua en el suelo también se pueden hacer en forma indirecta determinaciones de la humedad del suelo.

Los balances hídricos arriba mencionados se basan en la determinación y los valores de precipitación mensuales y anuales a largo plazo. Un balance más real debe considerar los valores mensuales de los años en estudio. Así la precipitación real para Turrialba presenta los siguientes valores promedios y extremos (CATIE, 1982).

	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO
Anual	2645	1770	4348
Enero	174	49	371
Marzo	82	12	323
Julio	268	106	489
Setiembre	239	90	334
Diciembre	345	92	1249

Ello conlleva que los valores mínimos de lluvia provoquen épocas de déficit hídrico, los valores máximos a épocas de exceso hídrico, siendo ambos perjudiciales para las plantas.

2.7. Deposición de elementos químicos con el agua de lluvia

El agua también desempeña un papel importante en la transferencia de elementos químicos en la biosfera. La transferencia de elementos químicos nutritivos tales como el nitrógeno ha sido conocida desde hace mucho tiempo, sin embargo, la transferencia de elementos tóxicos en asociación con la polución global ha sido motivo de estudios en los años recientes. Como ejemplo se presentan los estudios realizados por STEINHARDT y FASSBENDER, (1979) en los Andes Occidentales de Venezuela.

Cuadro 2.5

-Tasas de deposición de elementos químicos (kg/ha y año) en San Eusebio en comparación con valores de la literatura. STEINHARDT y FASSBENDER (1979).

Lugar	País	N	P	S	Cl	Na	K	Ca	Mg	Az	H
San Eusebio	Venezuela	9,90	1,10	11,8	59,40	3,26	2,60	3,60	5,23	2,43	0,81
Variación estandar (\pm)		0,56	0,19			0,45	0,10	1,76	0,05	0,17	—
Santa Fe	Panamá	—	0,95	—	—	30,70	9,50	29,30	4,86	—	—
Adiorodoumé	Costa Marfil	21,20	2,50	—	—	—	5,50	30,00	7,00	—	—
Kade	Ghana	14,00	0,12	—	—	—	17,50	12,70	11,33	—	—
Younde,	Camerun	12,00	1,70	—	—	—	12,00	3,80	1,50	—	—
Samaru,	Nigeria	4,80	—	—	—	61,11	37,20	1,00	2,95	—	—
Kampala	Uganda	19,10	—	7,60	11,40	21,70	21,60	—	—	—	—
	Zaire	6,4	—	4,60	3,50	1,70	2,00	3,90	1,07	—	—
	Gambia	35,40	0,25	—	—	8,10	4,30	2,90	—	—	—
Manaos	Brasil	10,00	0,30	—	—	—	—	3,7	3,0	—	—
El Yumbé	Puerto Rico	14,00	—	—	—	135,10	—	33,60	26,28	—	—
Berkeley	USA	2,00	0,01	14,31	3,81	6,60	1,72	2,20	0,33	—	0,06
Hubbar Brook	USA	22,00	0,19	38,00	7,01	7,90	0,80	2,17	0,38	—	0,98
				$\pm 2,50$		$\pm 0,12$	$\pm 0,19$	$\pm 0,12$	$\pm 0,07$		
Solling	Alemania	22,60	0,80	24,10	16,00	7,20	3,70	14,40	2,40	1,10	0,80

El lugar de estudio se caracteriza por poseer tipos de precipitación orográfica, habiendo alcanzado durante un año de registro 1576 mm (1973/74). Como puede observarse en el esquema de ubicación del lugar, la estación objeto de estudio se encuentra en una posición especial en relación a zonas de explotación pweolera.

Los valores de concentraciones de N/ha/año están dentro de los rangos normales que han sido registrados para el trópico, los cuales oscilan entre 4.8 y 35.4 kgN/ha/año. Las deposiciones de azufre alcanzan 11,8 kg de S/ha/año y son más elevadas que los registros en otras zonas tropicales. La concentración de Cloro también es comparativamente alta (59.4 Cl/ha/año) la cual disminuye a medida que las mediciones se alejan de la costa, como regla general. En términos generales puede decirse que como fuente de elementos en la atmósfera se consideran los aerosoles mismos

y la quema excesiva de gases en la explotación petrolífera y partículas de erosión eólica al norte de la región de estudio.

El nitrógeno que es formado durante descargas eléctricas cayendo en forma de ácido diluido con la lluvia, es un valor alto registrado si nos referimos a la tabla comparativa del ejemplo anterior.

Otro aspecto de la distribución de la polución global a través del ciclo del agua es que, la contaminación es distribuida hasta muchos miles de kilómetros de distancia de los lugares donde ha sido creada en virtud de los movimientos de masas de aire.

LITERATURA CITADA

1. AGUIRRE, V. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, IICA, Turrialba, Costa Rica. Tesis de Magister Scientiarum. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica, 1971. 138 p.
2. DOORENBOOS I. y PRUNIT, A. Crop water requirements FAO Irrigation and drainage paper 24, 1977. Roma.
3. FORSYTHE, W. Física de suelos; manual de laboratorio. Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 1980. 212 p.
4. GAVANDE, S.A. Física de suelos; principios y aplicaciones. México. Limusa. 1972. 351 p.
5. GOLLEY, F. B. et al. Mineral cycling in a tropical moist forest ecosystem. Athenas, University of Georgia Press 248 p. 1975.
6. HARGREAVES, G. Tables showing climate and potential evapotranspiration for Central American and Panama. Working paper 76-E 166. Utah- State University 1976. s.p.
7. HEWLETT, S. y NUTTER, W. An outline of forest hydrology. USA. University of Georgia. 1969. 137 p.
8. HOLDRIDGE, L.R. Ecología basada en zonas de vida. Traducido del inglés por Humberto Jiménez Saa. Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 216 p. 1979.
9. LIKENS, G.E. et al. Biochemistry of a forested ecosystem. 146 p. New York, Springer. 1977.
10. KUNKLE, S.H. y THAMES, J.L. eds. Hydrological techniques for upstream conservation. Roma. Food and Agriculture Organization of the United Nations; FAO conservation guide N° 2. 1976. 134 p.
11. ODUM, H.T. A tropical rain forest. Washington, U.S. Atomic Energy Commission. 1970, s.n.
12. STEINHARDT, U. y FASSBENDER, H.B. Características y composición química de las lluvias de los Andes Occidentales de Venezuela. Turrialba 29(3): 175-182. 1971.
13. WALTER, H. y LIETH, H. Klimadiagram weltatlas. Fischer-Verlag, Jena, 1960. s.p.

TERCER CAPITULO

CICLO DE LA MATERIA ORGANICA

3.1 La materia orgánica en el suelo

En el suelo, además de las partículas de origen mineral, como arena, limo y arcilla, existen otras partículas sólidas formadas a partir de la materia orgánica,

La materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo. El edafón consiste en los organismos vivientes del suelo o sea su flora y fauna. En el horizonte A de suelos cultivados el edafón constituye entre el 10-15% de la materia orgánica. El humus está compuesto por los restos postmortales vegetales y animales que se encuentran en el suelo y que están sometidos constantemente a procesos de descomposición, transformación y resíntesis. De esta manera se diferencian los conceptos materia orgánica y humus.

En todo caso la fuente originaria de la materia y del humus son los restos animales y especialmente vegetales que se depositan en el suelo. La vegetación consta de tallos, hojas, flores y frutos que al depositarse en la superficie del suelo constituyen la hojarasca o capa de mantillo. Cada uno de los componentes de la vegetación tienen una composición química específica. Estos residuos son objeto de su degradación o descomposición hasta los componentes elementales de las proteínas, de los carbohidratos, de las grasas y otros. La mineralización implica la formación de componentes minerales. A través de la mineralización se liberan una serie de compuestos importantes desde el punto de vista de la nutrición de las plantas, porque implican cantidades de N, P, S, K, Ca, Mg, etc. que se disponen directamente para las plantas. Se producen sustancias anorgánicas como aniones y cationes. Los productos resultantes pueden ser objeto de nuevos procesos de resíntesis y polimerización dando lugar a nuevos componentes químicos que reciben el nombre de ácidos húmicos, de características y propiedades específicas. Este proceso recibe por esto el nombre de humificación.

3.2 Composición de la Materia orgánica

Los elementos nutritivos se acumulan en las plantas generalmente o como compuestos orgánicos de una estructura polimerizada como carbohidratos, proteínas, grasas, y algunos se presentan como compuestos inorgánicos de una estructura más simple. La composición bioquímica de los restos vegetales varía dentro de grandes límites según la edad y funciones del órgano vegetal analizado. Los tejidos verdes son más ricos en carbohidratos y proteínas y los tejidos leñosos presentan mayores contenidos en compuestos fenólicos (ligninas) y celulosas. También existe una gran diferenciación entre los tipos de plantas analizadas y su grado de organización; las bacterias se caracterizan por su alto contenido en proteínas, los líquenes y algas presentan una gran acumulación de carbohidratos mientras que las plantas superiores muestran una distribución más equitativa.

Dentro de los componentes orgánicos de los restos animales y vegetales se pueden diferenciar los siguientes grupos:

a. Carbohidratos, que constituyen los tejidos de sostén, y conducción de las plantas y representan sustancias de reserva de los mismos. Entre ellos se encuentran:

1. Monosacáridos y derivados: glucosa, galactosa, ribosa, arabinosa, xilosa, aminoazúcares (glucosamina).
2. Oligosacáridos: disacáridos como sacarosa, maltosa, lactosa, trisacáridos como rafinosa.

3. Polisacáridos: almidón, hemicelulosa, pectina, inulina, glucógeno, quitina.

b. Ligninas son polímeros derivados del fenilpropano sustituido. El grado de sustitución es muy variable y la longitud de los radicales de sustitución en el fenilpropano da lugar a polímeros muy irregulares.

c. Proteínas, polipéptidos y ácidos nucleicos son polímeros constituidos a base de aminoácidos y oligopéptidos derivados. Los aminoácidos más frecuentes son la lisina, alanina y glicocola. La polimerización de aminoácidos lleva

a la formación de dipéptidos, tripéptidos; entre otros los últimos se encuentran la glutotona compuesta por moléculas de cistina, glicina y ácido glutámico. Sustancias proteicas son cadenas de aminoácidos en una longitud y secuencia definidas, donde se diferencian estructuras primarias, secundarias y terciarias relacionadas con la disposición de los aminoácidos.

d. Grasas, ceras y resinas. Las grasas neutras se derivan de la glicerina esterificada con ácidos grasos, son sustancias de reserva que se acumulan en diferentes órganos de las plantas, especialmente en las semillas. Las ceras son ésteres de ácidos grasos y alcoholes que forman la cutícula del tallo, las hojas y los frutos y cumplen funciones de protección. En los fosfolípidos, una de las posiciones de polimerización de la glicerina es saturada por una molécula de ácido fosfórico. En el grupo fosfórico puede también polimerizar una base nitrogenada (por ejemplo, colina, colamina) dando lugar a otras sustancias lipoides, tales como quepalina, lecitina.

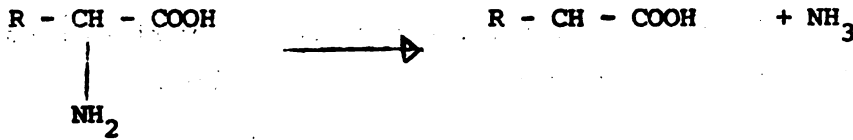
e. Otros compuestos. En los tejidos vegetales hay una multitud de otros componentes bioquímicos importantes como ácidos orgánicos, pigmentos, alcaloides, hormonas externas, antibióticos, quelatos, que no se consideran aquí en detalle porque desempeñan un papel de poca importancia cuantitativa en la mineralización de restos vegetales y en el proceso de humificación.

Todas estas sustancias se encuentran generalmente localizadas en las hojas de las plantas, y en el momento en que se produce la caducifolia, las hojas llegan al suelo donde forman una capa de Mantillo.

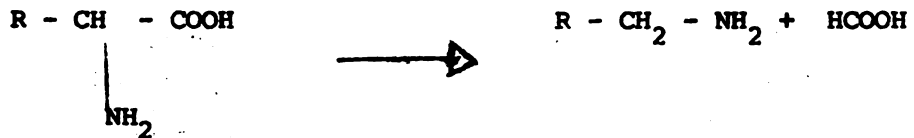
En la capa de mantillo, a través de los procesos de la mineralización y de la humificación se producen por un lado sustancias minerales que van a la solución del suelo, de donde son absorbidas por las plantas. Por otro lado, se producen sustancias húmicas que son acumuladas especialmente en el horizonte A del suelo.

La mineralización y la humificación son procesos complicados. A través de la deposlimerización de las proteínas, en función de la actividad de las bacterias, se van disgregando las diferentes unidades hasta llegar a los aminoácidos básicos.

Además los microorganismos especializados utilizan el radican aminico del aminoácido, resultando dos fracciones: un ácido húmico y el amoniaco.



Por otra parte, otros microorganismos especializados pueden atacar un enlace en una forma diferente, resultando un ácido muy corto y una amina, en la siguiente forma:



La amina es descompuesta posteriormente, dando como producto final el amoniaco y un radical carboxilico. La importancia de estos procesos es diferenciar los dos grupos de sustancias. Por un lado las que contienen C, H y N y por otro aquellas que sólo contienen C, H y O.

El amoniaco producido en estos procesos es absorbido por las plantas, llegando al ciclo del ácido cítrico formando parte nuevamente de los aminoácidos, completando de esta forma un ácido.

El ciclo de la materia orgánica es importante, desde el punto de vista de los microorganismos quienes necesitan carbohidratos y complejos nitrogenados, y desde el punto de vista de las necesidades de las plantas por sus requerimientos de nitrógeno.

3.3. La Capa de mantillo

Dentro de la capa de mantillo se diferencian tres subcapas, que reciben nombres específicos dentro la nomenclatura de los suelos: Capa orgánica con los sufijos L, F y H. L viene de litter = hojarasca; F de fermentation = descomposición y H de humus, las sustancias húmicas nuevas que se van formando.

La diferenciación óptica de estos productos en el campo es sencilla. Las hojas

en el momento en que caen, tienen sus estructuras foliares normales. Generalmente antes de la caída si existen procesos de degradación de diferentes sustancias; especialmente enzimas, coenzimas y clorofila, razón por la que las hojas adquieren el color amarillo rojizo. Pero al momento de caer al suelo están morfológicamente intactas y reciben el nombre capa O_L .

En el proceso de transformación, los microorganismos, especialmente los insectos son los primeros en producir una descomposición físico-mecánica, comiendo y devorando las hojas. Así resulta la capa de O_F . Después de la digestión excretan los insectos sustancias fecales donde actúan principalmente hongos y bacterias produciendo una descomposición bioquímica, formándose las nuevas sustancias húmicas que aparecen en la capa O_H . En esta capa O_H se tienen los nuevos productos de polimerización propios del suelo, las sustancias húmicas.

Estos procesos dependen de muchos factores; por un lado de la cantidad de hojarasca y sus características representan los factores internos. Los factores externos son las características del suelo mismo, la población de microorganismos, tanto de la flora como de la fauna presente, las condiciones de pH, agua disponible, elementos nutritivos, etc; que forman las constelación de las necesidades de los microorganismos para desarrollarse y poder producir los procesos de mineralización y humificación.

En función de las características de la capa de mantillo y las subcapas O_L , O_F , y O_H , se han diferenciado tres términos para caracterizar los tipos de mantillo "Mull", "Moder" y "Humus bruto" (terminología adaptada del alemán por las ciencias del suelo y aceptado también en español).

El Mull está caracterizado por una gran velocidad del proceso de transformación de los restos vegetales. En el término de un año desaparecen las hojas como tales, formando parte de la capa de suelo mineral rica en sustancias húmicas.

En el caso del "Mull", los procesos son rápidos, en función de las temperaturas altas, de las condiciones óptimas de precipitación, pH y componentes del suelo, registrándose una actividad acelerada de los microorganismos.

En el caso del "Humus bruto", la velocidad de descomposición de la M.O. disminuye notablemente, que puede durar entre 10 y 20 años. El "Moder" es una situación intermedia.

En condiciones tropicales y subtropicales, prácticamente solo se tiene el Mull. La formación de humus bruto puede ocurrir en condiciones de humedad excesiva casos extremos se presentan en las ciénagas, donde se pueden encontrar grandes capas de residuos vegetales que no son transformados.

3.4 Humus en el suelo mineral

3.4.1 Perfil y contenido de humus en el suelo

El contenido porcentual de materia orgánica en los primeros centímetros de suelo es alto, y va decreciendo en profundidad, lo cual puede ser definido como una disminución regular del contenido del C orgánico. En el caso de que aumentara, se trata de una disminución irregular y tiene bastante importancia en la taxonomía de suelos, ya que se debe a la presencia en el suelo de horizontes enterrados y cubiertos por capas aluviales o de otro tipo.

Algunos trabajos que caracterizaron el contenido de materia orgánica en suelos tropicales, como los de Días-Romeu et al, muestran que los valores del horizonte A varían en un promedio de 2% al 5%, siendo los valores máximos del 6% en suelos asociados a cenizas volcánicas (ver Cuadro 3.1).

Esta característica del contenido de materia orgánica del suelo, se ha utilizado para agrupar suelos y se han obtenido clasificaciones como la de Hardy (ver Fassbender, 1975):

<u>Interpretación</u>	<u>Materia orgánica %</u>	<u>C %</u>
Bajos en Materia orgánica	< 2	1.15
Medios en " " "	2.1 - 4.0	1.2 - 2.3
Altos " " "	4.1 - 10.0	2.4 - 5.8
Muy altos en materia orgánica	> 10.0	5.8

En el horizonte B, salvo excepciones como la de los suelos derivados de cenizas volcánicas, la disminución de materia orgánica es notoria y se debe a que la acumulación de restos orgánicos y la actividad biótica se cumple en los primeros decímetros del suelo quedando cantidades ^{no} mejores en el horizonte B.

3.4.2 Factores determinantes del contenido de humus

El rango de variación del contenido de materia orgánica en el suelo, está sujeto a diversos factores como el clima (temperatura y precipitación en especial); acidez del suelo (pH); tipos de vegetación que cubre el suelo; población de micro y macroorganismos; régimen de humedad del suelo; drenaje; microrelieve y el tipo de uso que se dé al suelo.

Jenny (ver en Fassbender 1975) indicó que los contenidos de materia orgánica y de N en los suelos, están determinados en primer lugar por el clima y la vegetación; y en segundo lugar, por factores locales como el relieve, material parental del suelo y tipo y duración de la explotación de los suelos y por otras características físicas y microbiológicas.

Así cada factor actúa de la siguiente manera:

- Lluvia: al aumentar el agua de lluvia (ver capítulo 2) aumenta la biomasa de los bosques y así su producción de hojarasca. Sin embargo de ella puede provocar una disminución de la materia orgánica, debido probablemente, a la traslocación de la misma por erosión.
- Altura: se ha encontrado una dependencia de la materia orgánica con respecto a la altura, en el sentido de que a mayor altura, mayor es el porcentaje de materia orgánica y debido a: 1) producción de hojarasca y 2) población microbiana, que están en función a la disminución de temperatura que se calcula en 6 grados C° por cada 1000 mts.

CUADRO 3.1 Contenido de C y N en algunos suelos de América Latina.

Autor(es)	Región	Tipo de suelo (grupo)	No. muestras	pH	Horizonte A		pH	Horizonte B	
					% C	% N		% C	% N
Sudamérica									
Viera-Bornemisza ⁸⁹	Amazonas	Latosol	7	4,80	3,10	0,20	5,30	0,47	0,03
		No latosol	5	5,30	2,47	0,23	5,62	0,47	0,03
Sombroek ⁷⁶	Amazonas	-	18	4,55	2,53	0,22	4,42	0,32	0,04
Klinge ⁴⁹	Amazonas	-	19	3,90	2,41	0,11	3,70	0,65	0,06
Roeder-Bornemisza ⁶⁸	Amazonas	-	8	5,30	0,55	0,06	-	-	-
Cubala-Fassbender ¹⁸	Bahia	-	8	6,00	1,42	0,17	5,40	0,57	0,03
Blasco <i>et al</i> ¹³	Amazonas (Colombia)	Cultivo	(46)	5,40	4,2	0,67	5,50	2,70	0,36
		Pradera	-	5,60	2,9	0,53	5,90	1,70	0,23
		Pantano	-	5,50	6,8	0,92	5,3	7,90	0,95
Blasco ¹²	Nariño, (Colombia)	Andosol, Subalpino	6	5,31	6,30	0,50	-	-	-
		Montano	6	6,01	3,19	0,33	-	-	-
		Subtrópico	3	5,18	2,57	0,27	-	-	-
		Trópico	6	5,60	6,31	0,70	-	-	-
FAO ³³	Llanos (Colombia)	-	-	4,70	1,36	0,16	-	-	-

Cont. CUADRO 3.1

Autor(es)	Región	Tipo de suelo (grupo)	No. muestras	pH	Horizonte A		pH	Horizonte B	
					% C	% N		% C	% N
FAO ³¹	Sudamérica	Acrisoles	10	4,85	2,21	0,18	4,86	0,56	0,063
		Ferrasoles	10	4,66	2,75	0,22	5,10	1,00	0,078
		Cambisoles	6	5,06	3,70	0,37	5,10	1,10	0,11
América Central									
Díaz-Romeu, Bálerdi y Fassbender ²³		Andosoles	56	5,58	3,06	0,39	5,12	0,70	0,037
		Litosoles	21	5,59	2,20	0,43	5,67	0,71	0,030
		Fluvisoles	20	6,02	3,09	0,30	5,89	1,37	0,098
		Cambisoles	32	4,91	3,66	0,68	4,93	0,90	0,053
		Pluvisoles	12	5,79	2,41	0,54	5,28	0,50	0,167
		Brunizemes	12	5,95	2,38	0,41	5,00	0,55	0,036
		Luvsoles	8	5,10	3,05	1,32	5,33	1,02	0,073
		Regosoles	3	5,06	3,26	0,20	4,73	1,03	0,073
		Rhodosoles	2	5,55	2,40	0,23	5,65	0,85	0,055
Vertisoles	2	5,95	1,75	0,18	5,30	1,70	0,080		

En un trabajo de Jagnow, (ver Fassbender 1975) en el cual se relaciona altura y precipitación pluvial con el contenido de materia orgánica en suelos de Africa Oriental, se establece una función matemática múltiple que permite calcular el contenido de C para un lugar, al conocer su altura y la precipitación (ver Figura 3.4).

Jenny, citado por Fassbender (1) propuso el uso de temperaturas medias del contenido de C y N en los suelos, con el objeto de conocer sus variaciones, es decir, de saber los cambios de temperatura necesarios para duplicar o reducir a la mitad el contenido de C y N. En general puede decirse que los suelos tropicales son susceptibles a los cambios de temperatura y por ejemplo, para condiciones de Colombia, se encontró que al aumentar la temperatura media anual en 5.03°C , el C se reduce a la mitad.

- materia parental: este tienen un efecto indirecto sobre la materia orgánica de los suelos, ya que rocas ricas en nutrimentos como las cenizas volcánicas, permiten el desarrollo de vegetación exuberante a que al final producirá mayor cantidad de restos vegetales y por ende materia orgánica. De alguna manera, algunos factores ecológicos pueden determinar el contenido de materia orgánica en un suelo; como ejemplo, en Costa Rica por efectos de los vientos la cenizas volcánicas de la cordillera Central son arrastradas hacia la vertiente Pácifica, desarrollándose así suelos más influenciados por ellas.
- arcillas: el contenido, tipo y reacción de las arcillas actúa como agente estabilizante de la materia orgánica y se forman complejos estables entre los minerales arcillosos y las sustancias húmicas del suelo. Por ejemplo, la alófana que es un mineral amorfo presente frecuentemente en los suelos derivados de cenizas volcánicas, tiene un mayor número de radicales funcionales que lleva a una adsorción y estabilización de las sustancias húmicas.
- Reacción del suelo: esta influye sobre el contenido de materia orgánica en el suelo en formas diversas; así, el pH actúa en el contenido y composición de los microorganismos en las condiciones de acidez, la acción bacteriana se limita, resultando menor eficiencia en los procesos de mineralización y humificación. También el pH determina la saturación del complejo de intercambio de los suelos. En la figura 3.2, puede

versa la relación entre el pH y el C/N, que con un pH de 6-7 hay una relación C/N de 10-12, los cuales podría considerarse como lo ideal para un suelo agrícola típico.

- Condiciones del agua: cuando se presentan condiciones anarólicas, por ejemplo inundaciones, el proceso se trunca y lleva a formaciones hídricas, dando lugar a turbas o ciénagas.

3.4.3. Análisis de la materia orgánica del suelo

El contenido de humus en el suelo se caracteriza en función de su análisis. El análisis implica la determinación del contenido de carbono. En función de que el carbono participa en promedio con el 48% de la materia orgánica, se tiene un factor de corrección para el cálculo del contenido de materia orgánica en el suelo analizado de van Barmelen

1.72	Materia orgánica
% C	%

0.48

La materia orgánica además está constituida por C(48%), O (40%) y H(6-8%); la participación de N, P, S y oto otros elementos menores es menor. Los elementos C, H, y O implican prácticamente el 98% de la materia orgánica.

Entre los diferentes métodos de análisis se mencionan: el método de la digestión húmeda, a base de dicromato de potasio, y el método de la digestión seca, donde el suelo se somete a temperaturas de 1000 ° C. La materia orgánica se destruye, volatilizándose el CO₂ que es medida volumétricamente.

Para la caracterización del contenido de materia orgánica en el suelo, se usan además criterios basados en las relaciones C/N, C/P orgánico y C/S orgánico.

Los valores de la relación C/N en suelos agrícolas varía normalmente, entre 9 y 14, siendo más bajas en suelos de regiones áridas, que en suelos de regiones húmedas en condiciones de temperatura similar. En condiciones de igual precipitación, los valores

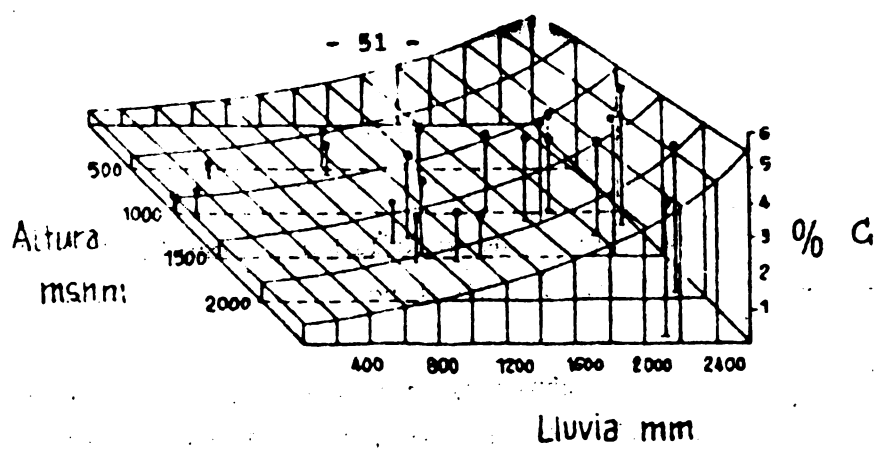


Fig. 3. 4 Relación entre la altura y la precipitación pluvial con el contenido en materia orgánica en suelos de Africa Oriental. (Según Jagdow, Fassbender, 1975).

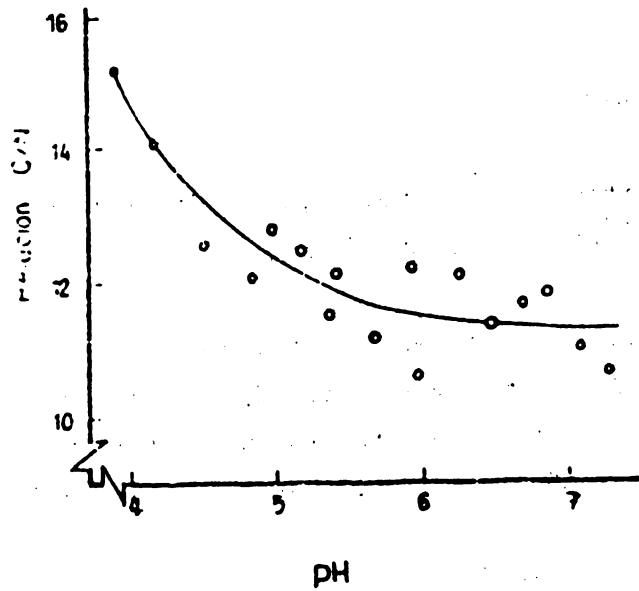
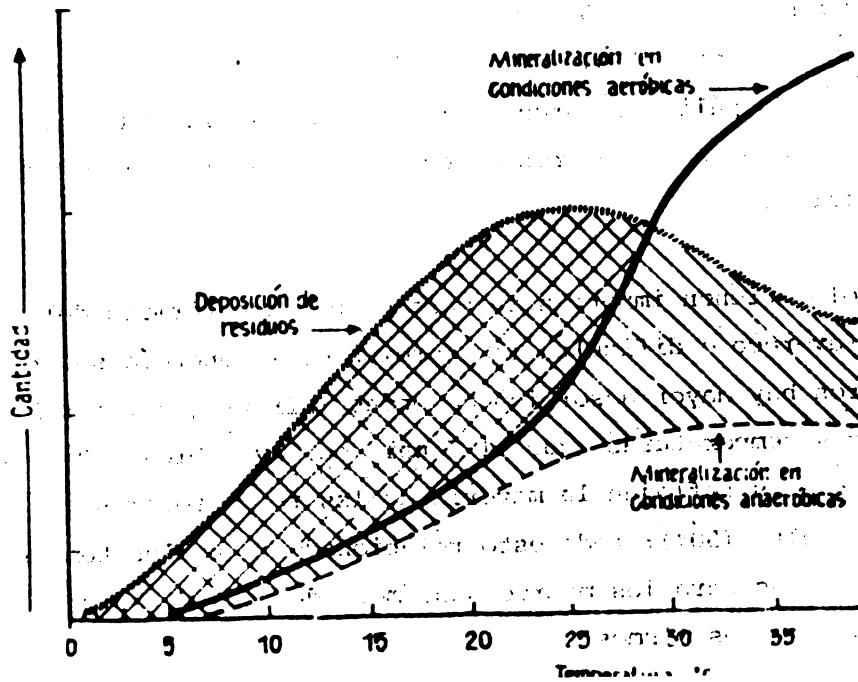


Fig. 3. 2 Relación entre el pH y la relación C/N. (Según Hardon



son más altos en regiones frías que en cálidas y también, la relación C/N es más baja en suelos neutros o ligeramente alcalinos.

La relación C/P y C/S orgánicos, tienen valores que oscilan alrededor de 100. En el caso de la relación C/P orgánico, los valores dependen mucho del método de determinación utilizando para el P orgánico; por último, una relación de C/P orgánico de 300 considerada desfavorable, lo mismo en el caso que la relación C/S sea de 400-500.

3.4.4 Importancia del humus en el suelo

El humus es importante en el suelo, ya que interviene en diversos procesos y está determinando una serie de características a saber:

- color: el contenido de materia orgánica determina en gran medida el color, del suelo; a mu mayor cantidad, el color se vuelve más oscuro y en función a esto, puede hacerse una determinación aproximada de la materia orgánica y clasificarla en baja, media, alta y muy alta.

Setiene por ejemplo:

1. Suelos negros: 10-15% de materia orgánica
2. Suelos pardo-negro: 5-10% " "
3. Suelos pardos 2-5 % de " "
4. Suelos amarillos: 0.4% de " "
5. Suelos pálidos: arenas sin materia orgánica (aunque podría darse el caso de arenas teñidas con algunos óxidos como los de titanio)

El color tienen importancia para el balance térmico del suelo, ya que favorece o dificulta la dsorción de la energía solar. En suelos oscuros hay mayor adsorción de ondas infrarrojas y por lo tanto mayores temperaturas. que al final son favorables. Por el contrario colores claros reflejan la mayoría de los rayos solares y tienen un albedo alto (50%); todo esto relacionado a que las temperaturas son importantes para los microorganismos, de acuerdo al grado de susceptibilidad de los mismos.

- agregados: en general, la materia orgánica favorece la formación de ellos; que las partículas de arena, limo y arcilla se agregan por sustancias coagulantes y que en última instancia resultan los compuestos organo-minerales de gran importancia en el suelo.
- plasticidad y disponibilidad de agua: la materia orgánica favorece a la misma, reduciendo la cohesión que al final influye en el régimen hídrico del suelo. Favorece la formación de micro y macroporos en suelos arcillosos, incrementando la velocidad de infiltración, permeabilidad y a aireación. En suelos arenosos, favorece el incremento de humedad por sus características higroscópicas.
- capacidad de intercambio catiónico (CIC): aumenta la capacidad de intercambio catiónico, los valores de CIC son más altos en la materia orgánica que en coloides arcillosos. Dependiendo del pH, se estima un CIC de 200 meq/100 g de C con pH = 7 y de 85 meq/100 g de C para un pH = 4.5. La CIC también es afectado por el estado de descomposición de los residuos orgánicos.

En síntesis la materia orgánica tiene una CIC alta que le permite fijar y retener cationes, evitando su pérdida por lixiviación, y también es capaz de retener aniones, en especial fosfatos y sulfatos, evitando su pérdida por lavado o precipitación como sales insolubles.

- acidez: la materia orgánica aumenta la capacidad tampón de los suelos, evitando cambios bruscos del pH, generados por ejemplo por la dilución de sales fertilizantes, es decir regula la acidez.

- Elementos nutritivos: favorece la disponibilidad del N, P y S. a través de los procesos de mineralización.

- Procesos pedogenéticos: la materia orgánica participa en ellos debido a sus propiedades de peptización, coagulación, formación de quelates y otros.

- Formación de sustancia inhibitoras; debido a la presencia de diversas sustancias como lignina y otras, los restos de vegetales, estas pueden inhibir el desarrollo de los microorganismos afectando los procesos de humificación.

- labranza: el contenido de materia orgánica por sus efectos en la agregación de partículas estructurales, puede favorecer el manejo de los suelos en relación a su laboreo.

3.5 Ciclo de la Materia Orgánica en ecosistemas forestales

3.5.1 Contenido de materia orgánica en ecosistemas tropicales

Las formaciones ecológicas climax de áreas tropicales se encuentran en general en un estado estático. La producción de nueva fitomasa es comparable a la deposición y descomposición de restos vegetales (Anabolismo = C (catabolismo). Bajo estas condiciones se tiene en esos ecosistemas un ciclo cerrado, interno de elementos nutritivos, en el cual la biomasa y las velocidades de transformación y transferencia de los elementos nutritivos dependen en gran parte de las condiciones edafológicas y climatológicas.

Al tratar de hacer un estudio de ecosistema, es necesario por un lado hacer un inventario de las diferentes unidades a estudiar dentro del ecosistema como materia orgánica, Nitrógeno, fósforo, potasio, etc..., subdividiendo entonces el ecosistema en los diferentes compartimentos el bosque como tal, la capa de mantillo y el suelo mineral. Este inventario tiene que realizarse en función de la determinación de la materia orgánica, en los diferentes órganos del bosque o del rodal; efectuando la determinación de la materia orgánica en la capa de mantillo y el análisis de carbono pudiendo expresarse como materia orgánica también en el suelo mineral (Figuras 1.5, 3.4).

Los flujos que existen dentro del ecosistema pueden ser vía hojarasca a través de la producción de residuos vegetales, que se incorporan al suelo cayendo primero sobre la capa de mantillo donde van siendo descompuestos e incorporados al suelo en función de los procesos de mineralización y humificación.

En la figura 1.5 se presenta un esquema básico de los posibles compartimentos y procesos de transferencia en un análisis sistemático de los ciclos de los elementos químicos en un sistema forestal. Las reservas orgánicas y minerales se encuentran localizadas en la fitomasa del bosque, distribuida en los compartimentos de tallos, ramas, hojas, raíces y de acuerdo a la estructura y la ecofisiología del ecosistema, en el sotobosque y en epifitos, así como en la capa de mantillo y el suelo. En

algunos casos, también se considera para los inventarios la madera muerta, como algo singular, y que existían muchos árboles que prácticamente están parados muertos. Los procesos de transferencia dentro de los compartimentos se producen en medios de transporte como el agua (lluvia, lavado foliar, escurrimiento de tallos, escurrimiento superficial, percolación a través del suelo y percolación en el agua freática). y la materia orgánica (producción de restos vegetales, descomposición y liberación de elementos nutritivos). Con el agua se produce un flujo de elementos disueltos a través del ecosistema, siendo estos solubles en agua, como los nitratos y amonio (N), sulfatos (S), fosfatos (P) y potasio, calcio, magnesio.

Como un ejemplo del estudio del contenido de la materia orgánica se presentan datos obtenidos en la reserva de San Eusebio en Mérida, Venezuela. Este bosque se encuentra localizado entre los 2000 y 2500 mts. de altura, donde especies como pino laso (*Podocarpus rospigliosii*), pino aparrado (*Podocarpus oleifolius*), mortifino robado (*Graffenrieda latifolia*), saysay *Myrcia fallax* son los más importantes. Se trata de una zona nublada con una humedad atmosférica muy elevada en función de esto se tiene una gran cantidad de epifitas como orquídeas, aráceas y bromeliacias, también existe el tampalo (*Clusia multiflora*) que viene siendo una especie de epifita, que al momento de germinar, produce una raíz libre primero, que al llegar al suelo desarrolla notablemente convirtiéndose prácticamente en un tallo enrollándose muchas veces en los troncos de otros árboles hospederos y llega a matarlos.

Tomando en cuenta la distribución por especies y por diámetros, se escogió un área de aproximadamente una hectárea representativa y se hizo una determinación de biomasa en un grupo de árboles de cosecha. Ellos se tumbaron y se cubicaron, utilizando la densidad aparente se calculó la biomasa de tallos. Se cortaron todas las hojas de las copas y se pesaron para determinar la biomasa de las hojas; en conjunto nos indicarán la biomasa aérea (ver Figura 2.2). Seguidamente se realizó la determinación de la capa de mantillo utilizando un marco de madera de 50 x 50 cm, con un área conocida de $0,25 \text{ m}^2$, que se coloca sobre el suelo; entonces se van sacando todas las hojas de la capa de mantillo tomando en cuenta sus características como O_L , O_F , O_H (Horizontes), se separan y se muestrean por separado, secándolas obteniendo el peso seco para determinar la biomasa total de la capa de mantillo.

El contenido de materia orgánica o carbono en el suelo, se puede diferenciar en el perfil del suelo por horizontes, horizonte húmico A₁, el horizonte de meteorización B₁ del horizonte gleyzado G, también se puede utilizar una distribución en profundidades (0-20, 20-40, etc.), realizando el análisis de suelo según estratos, obteniendo sus características de materia orgánica.

Para analizar el análisis de la biomasa, de raíces se utiliza un anillo metálico con una profundidad de 10 cm, que se van introduciendo al suelo, tomando muestras que con agua y utilizando un tamiz, se van separando las partes en sus diferentes diámetros < 0.5 cm, 0.5 a 2 cm 2-5 cm,

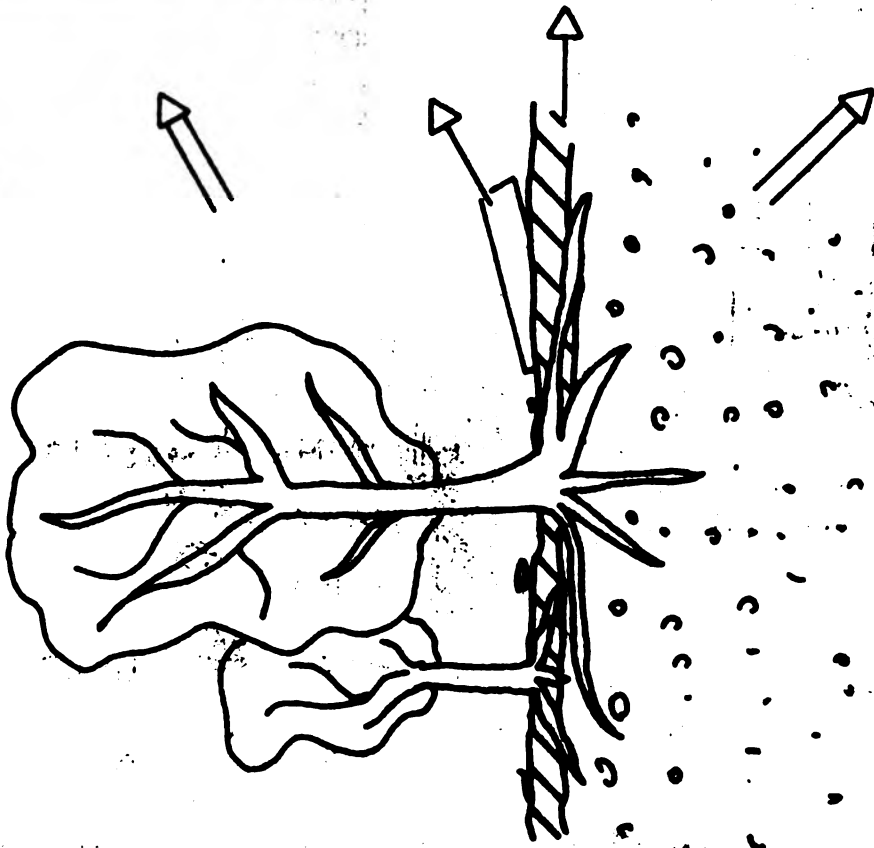
En este estudio en función de 13 parcelas que se estudiaron se hizo análisis completo como un inventario de la materia orgánica distribuyendo la fitomasa en la parte aérea, raíces y la madera muerta; la capa de mantillo sobre el suelo mineral y el suelo mineral como tal. La fitomasa total llegó a 437 ton/ha distribuidas parcialmente en un 62% en tallos; ramas 10%, raíces 21%, hojas y apifitas 2%. (Figura 3.4, Cuadro 3.5).

Esta distribución es muy típica, encontrada en muchos estudios realizados, la capa de mantillo acumulada representa un 10% del total y en el suelo se encuentra otra distribución, ya que los suelos con la profundidad no son homogéneos; se ha comprobado que el contenido de materia orgánica disminuye con la profundidad del suelo.

En estudios comparativos de la biomasa viva de ecosistemas tropicales, a nivel mundial se han hecho algunos estudios vemos que los valores varían entre 1190 ton/ha en casos excepcionales como en Panamá, Santa Fe donde se tienen características pantanosas y como valor extremos más bajos un ecosistema en Colombia-Carare con una biomasa de 180 ton/ha, pero los valores normales encontrados están entre 250 y 400 ton/ha; comparar los valores encontrados es muy relativo ya que la metodología de medición usada en cada estudio, o región como Panamá, Brasil, Nueva Guinea, Puerto Rico, etc. es variable. (Figura 3.5).

El porcentaje de la biomasa de los tallos, en el caso de tener valores altos ello implica que seguramente los estudios han sido en parte incompletos, proque no se

SQUEMA DEL ECOSISTEMA
 INVENTARIO DE MATERIA ORGANICA
 PROMEDIO DE 13 PARCELAS



TALLOS	269.7
RAMAS	43.2
HOJAS	4.9
EPIFITAS	4.2
SOTOBOSQUE	25.2
RAICES	90.0

MADERA MUERTA 30.0

MANTILLO (t/ha)	39.6
RECIENTE (Hojarazca)	5.9
DESCOMPUERTO (Humus)	33.7

SUELO MINERAL (t/ha)	
0 - 20 cm	182.1
20 - 40	137.2
40 - 60	92.6
60 - 90	100.0
90 - 120	71.5

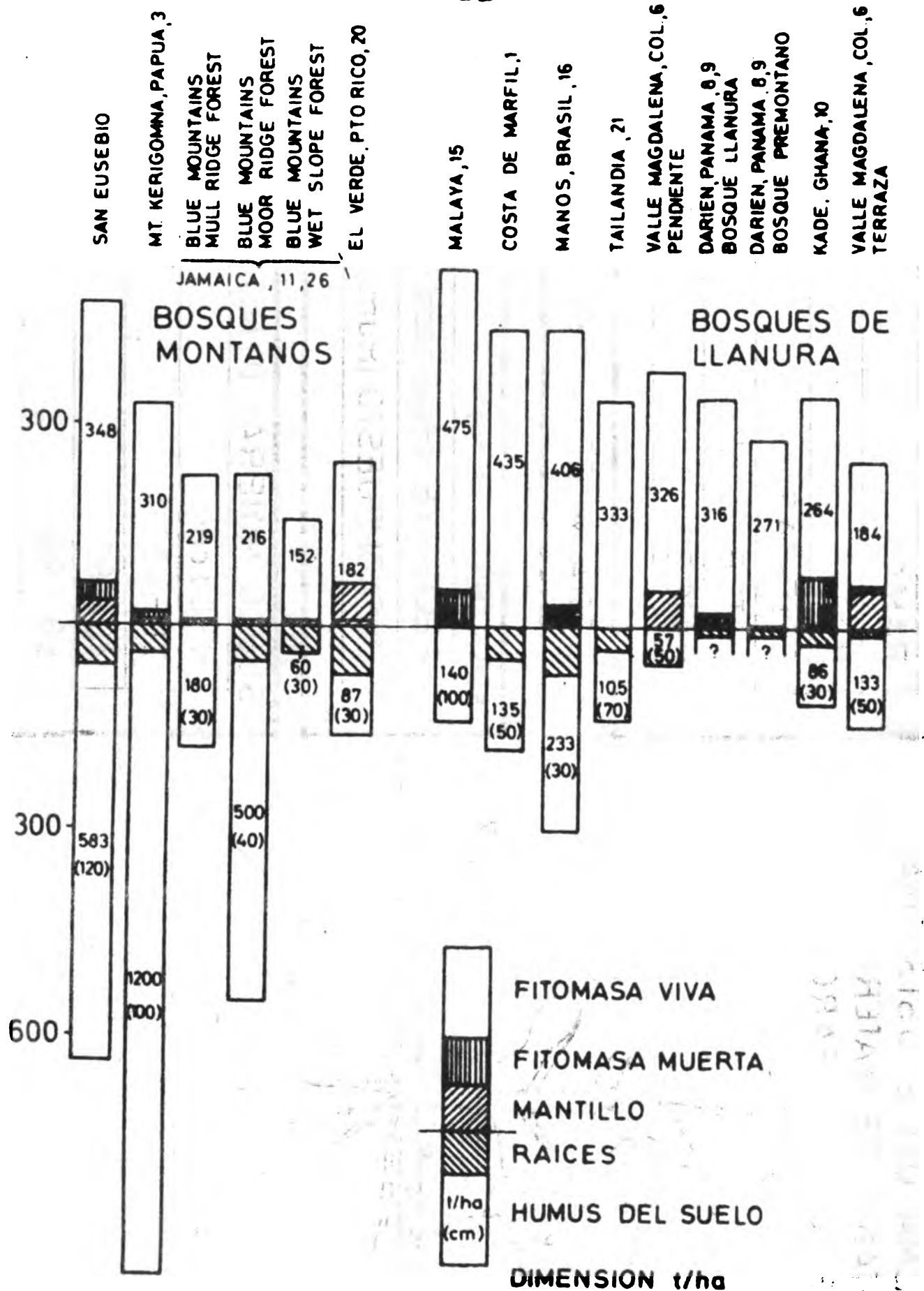


Fig. 3.5. Reservas orgánicas de algunos ecosistemas forestales

Cuadro 3.2 DISTRIBUCION PORCENTUAL DE ELEMENTOS NUTRITIVOS EN ECOSISTEMAS FORESTALES

	Materia orgánica (t/ha)	N	P	K	Ca	Mg
				Kg/ha		
Kade, Ghana						
Suma	4839	5655	80	1152	4260	610
% Vegetación	6	18	86	43	38	38
% Mantillo	1	1	14	1	1	1
% Suelo (25 cm)	93	81	-	56	61	61
Manaos, Brasil						
Suma	514	7538	168	634	718	451
% Vegetación	92	40	39	72	70	57
% Mantillo	1	4	18	12	30	39
% Suelo (30 cm)	7	56	42	10	0	4
Sta. Fé, Panamá						
Suma	394	-	176	3456	26268	2685
% Vegetación	96	-	79	89	14	15
% Mantillo	4	-	8	1	1	1
% Suelo (30 cm)	-	-	13	10	85	84
Carare, Colombia						
Suma	372	6753	299	428	551	204
% Vegetación	50	11	9	65	78	65
% Mantillo	15	10	6	7	17	14
% Suelo (50 cm)	35	79	85	28	5	21
Nueva Guinea						
Suma	2220					
% Vegetación	6	7	79	61	33	34
% Mantillo	1	1	6	1	2	1
% Suelo (30 cm)	93	92	15	38	65	65
Mérida, Venezuela						
Suma	601	9074	1040	1771	1597	389
% Vegetación	77	12	16	83	96	65
% Mantillo	7	6	3	3	13	4
% Suelo (20 cm)	16	81	81	14	31	31

han determinado las raíces o bien las epifitas. El contenido de biomasa de hojas a nivel mundial viene siendo entre 5 y 12 ton/ha, teniendo un valor promedio entre 7 y 8 ton/ha dentro de los sistemas estudiados en bosques primarios.

Naturalmente hay una diferencia entre bosques primarios de áreas altas como Nueva Guinea, Puerto Rico y los otros de zonas bajas de menos de 1000 mts. de altura, o bosques de llanura (Figura 3.5).

3.5.2 Transformaciones de la materia orgánica en ecosistemas

La vegetación es una variable dependiente e independiente en el ecosistema. Su establecimiento y desarrollo en un área determinada depende de los factores ambientales y edafológicos (suelo, clima, organismos, relieve y tiempo). Después de su formación y al llegar a su estado climax, un equilibrio con los factores ambientales, la vegetación suministra residuos vegetales como hojas, ramas, flores, frutos, raíces y tallos, que al descomponerse son incorporados al material mineral del suelo.

Para describir el ecosistema es necesario referirse a la formación vegetal como un factor estático y al estudio del ciclo de los minerales vegetales orgánicos como un factor dinámico. Los aspectos más importantes del ciclo de los residuos vegetales son:

1. Cantidad de los residuos vegetales agregados a cada unidad del suelo en un cierto período
2. Composición biogeoquímica de los residuos
3. Procesos de descomposición y humificación de los residuos
4. Liberación de CO_2 y elementos químicos

La velocidad de la descomposición de los residuos y la formación de humus dependen de la actividad de los animales y microorganismos saprófagos del suelo; los estudios a este respecto son aún muy esporádicos. Los resultados de tales procesos son más accesibles ya que las formas de humus tienen estructuras definidas (capa de mantillo, materia orgánica del suelo mineral) que se pueden estudiar en detalle.

Cuadro 3.3 Transferencia de materia orgánica (t/ha por año) y elementos químicos (kg/ha por año) con los residuos vegetales.

Fassbender y Grimm, 1981.

Ecosistema	Autor	Materia orgánica t/ha	N	P	K kg ha y año	Ca	Mg
Bosques Montanos							
San Lucebio		6.97	69	4.0	33	43	14
El Verde, Pto. Rico		5.51	88	1.1	-	42	9
Bosques de Llanura							
Banco, Costa Marfil		9.50	158	13.6	81	85	36
Yapo, Costa Marfil		8.80	113	4.2	26	105	23
Mangos, Brasil		21.90	324	13.4	35	48	36
Manaos, Brasil		7.40	106	2.1	13	18	13
Murciélagos, Guatemala		9.0	169	5.8	20	88	64
Magdalena, Colombia		12.0	141	4.2	17	90	21
Magdalena, Colombia		8.7	103	3.4	29	124	12
Yagambi, Zaire		12.3	154	7	46	84	44
Sta. Fe, Panamá		15.3	224	9	87	104	104
Sta. Fe, Panamá		11.3	-	8.6	128	240	22
Sta. Fe, Panamá		10.5	-	2.6	91	98	104

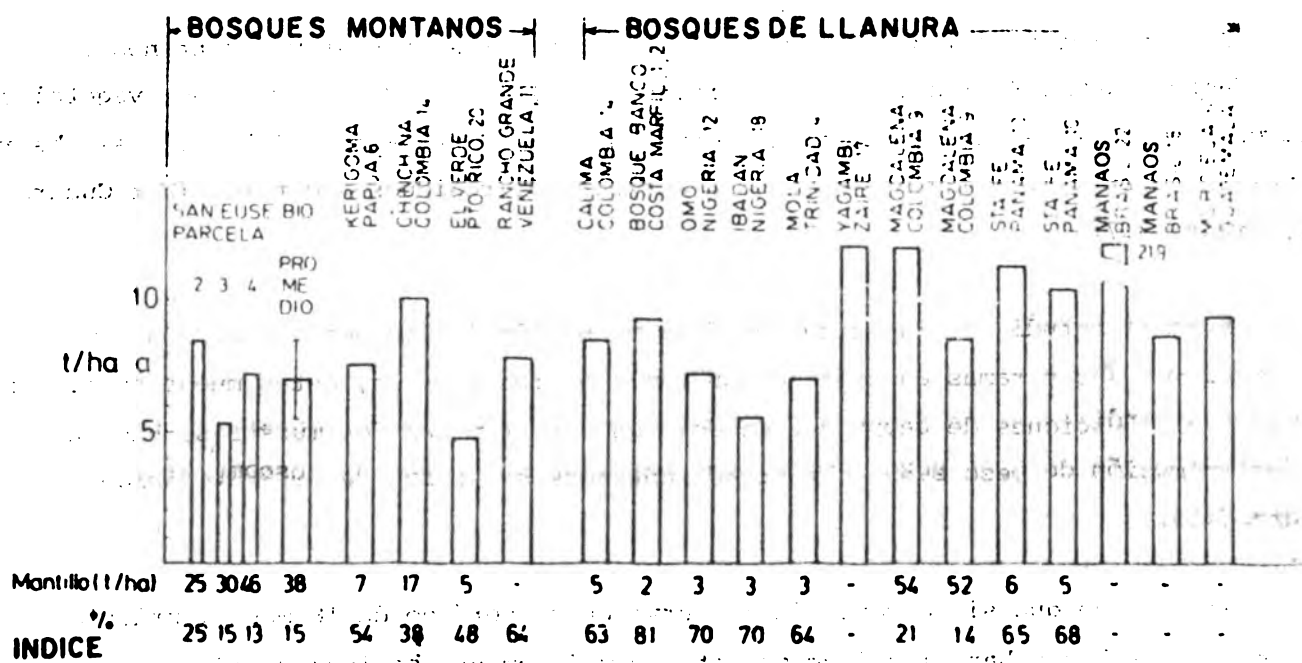


Fig. 7 Producción de residuos vegetales en diferentes ecosistemas forestales y su índice de transformación

Fassbender y Grimm, 1981.

La intensidad del ciclo de la materia orgánica se puede expresar con el índice de transformación, determinado por Jenny et al, de acuerdo a la fórmula:

$$C = \frac{R}{R + H} \times 100$$

donde:

C = es el coeficiente porcentual de descomposición de los residuos vegetales

R = es la producción anual de residuos vegetales ñ por unidad de superficie

H = es la cantidad de humus en la capa de mantillo por unidad de superficie

En regiones tropicales y subtropicales existen algunos estudios sobre la producción de residuos vegetales. En Mérida, Venezuela, en un sistema se estudió la producción de residuos vegetales, observando por ejemplo que en diciembre se llegó a determinar una producción de residuos de y.06/ha y año, donde la participación de las hojas fue alta llegando a 3.4 ton/ha y año; el resto lo componen ramas, flores, frutos y epifitas; en función de la distribución de las lluvias y de las características fisiológicas de los bosques se tiene un determinado ciclo, que puede ser lógicamente influenciado por el agua, porque en el momento en que el agua está llegando a su nivel crítico, las hojas se pierden y entonces llegan al suelo (ver Figura 3.6).

En comparación a los valores encontrados en otros ecosistemas montanos en el bosque de San Eusebio-Venezuela, se determinó un valor promedio de residuos vegetales, en otros bosques se de llanura como en Nueva Guinea, Puerto Rico y Colombia, se observan valores entre 5 y 8 ton/ha y año de deposición de residuos vegetales (Ver Cuadro 3.3., Figura 3.7).

Para el estudio de las tasas de descomposición de las hojas o de las ramas se colocaron hojas y ramas en cajas d con tamiz arriba y abajo, estas muestras fueron expuestas a condiciones de campo y cada dos meses se tomaban dos muestras, haciendo una determinación de peso seco, obteniendo entonces una curva de descomposición (Figura 3.8).

Se observa que si se continúa la curva en un período de 18 meses, prácticamente los residuos de hojas han sido descompuestos completamente he introducidos en el suelo,

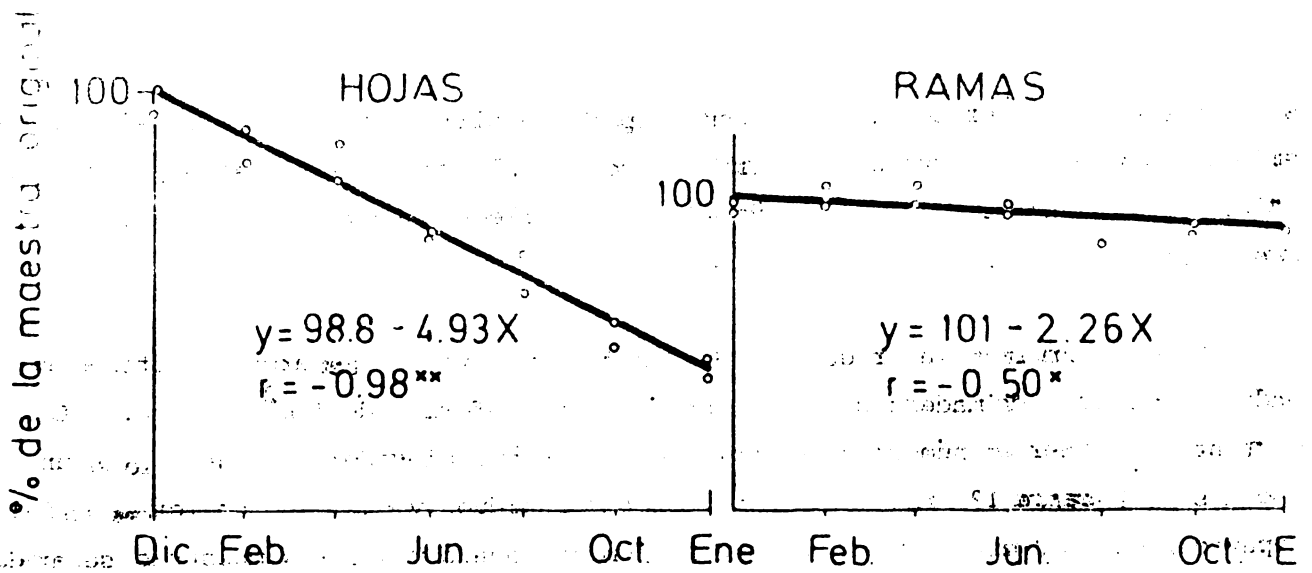
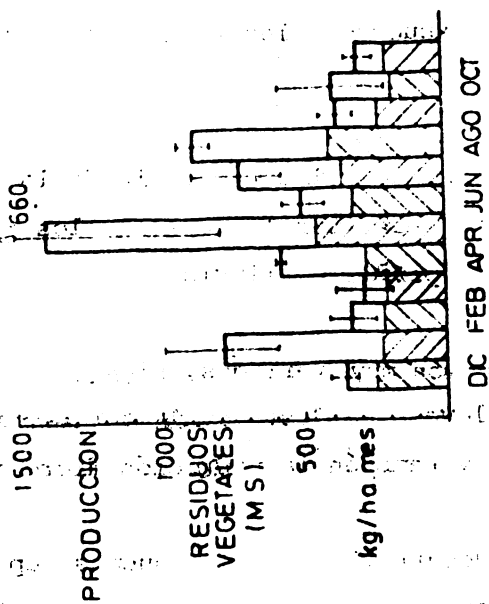


Fig. 3.51 Tasa de descomposición de los residuos de hojas y ramas. (Grimm, Fassbender, 1981).



3.6 Producción de residuos vegetales y desviación estándar y la participación de hojas. (Fassbender, Grimm, 1981).

o sea que tiene que ver con un mull como tipo de mantillo y la descomposición de los residuos vegetales es bastante acelerada. Pero en el caso de las raíces y los troncos, se tiene una descomposición mucho más lenta, para llegar a cero se necesitaría transcurrir 12.5 años.

Para determinar la producción de residuos vegetales tensaron colectares consistiendo en un marco de madera con tamiz en la parte inferior de 1 m^2 de área. Lo importante es tener un número de repeticiones bastante elevado; por ejemplo en un campo d se colocaron 12 trampas para recolectar residuos vegetales, en forma radial y separadas cada 10 mts.. La hojarasca se tomaba cada semana, las muestras separadas por hojas, ramas, flores, frutos o epifitas, obteniendo entonces muestras mensuales de residuos vegetales y por año. Analizando las muestras se obtienen las cantidades de N, P, K que se depositan a el suelo.

3.6 Efecto de la tala y quema

Cualquier intento de explotación de los bosques, empieza con la tala y quema de los mismos, que en primera instancia produce una interrupción en el ciclo natural de nutrimentos y en especial el de la materia orgánica, debido a que se interrumpe la producción de residuos vegetales y ya no cou ocurre degradación y mineralización de las mismas. El suelo queda expuesto a los fenómenos climáticos que causan diversos problemas como la erosión hídrica.

El proceso de tala empieza normalmente al fin de la época de lluvias a efectos de aprovechar la época seca para facilitar la quema de los restos vegetales y poder sembrar antes de la siguiente temporada de lluvias.

Los efectos de la quema son muy variados, siendo el primero el calentamiento superficial del suelo que conlleva a la destrucción del mantillo en parte. Disturba diversas propiedades del suelo y también la población microbiana del mismo.

La temperatura que se desarrolla en estas quemas depende de factores tales como cantidad de fitomasa, tipos de restos vegetales, posición de los restos (dispersión o amontonamiento), grado de humedad, factores climáticos como humedad del aire, precipitación en el momento de la quema y vientos que atizan el fuego (ver Figuras 3.9, 3.10, 3.11).

Las temperaturas desarrolladas son variables y sobrepasan los límites biológicos, que conducen a la esterilización parcial del suelo, reduciendo la actividad microbiana. Valores de 60° C ya son críticos ya que producen la desnaturalización de las proteínas. A temperaturas de 80 - 100 ° C se acelera la oxidación de la materia orgánica con producción de CO₂ que pasa a la atmósfera. También el N asociado a la materia orgánica se desprende en forma de óxidos a temperaturas mayores a 300 - 400 °C; así también se pierden ciertas cantidades de azufre (Figura 3.11). En caso extremo se producen temperaturas de hasta 800°C (Figuras 3.9 a 3.11).

Los otros elementos, en especial el P, K, Ca y Mg se acumulan en las cenizas que se depositan en el suelo para reaccionar posteriormente con el agua a las formas iónicas, con lo cual aumenta la disponibilidad; pero a su vez son más susceptibles al lavado. Todos estos procesos de oxidación llevan a cambios en el pH (ver Figura 3.11, 3.12, 3.13).

Hacer un balance exacto de las pérdidas de elementos nutritivos por la quema es difícil, ya que las temperaturas varían por los varios factores expuestos, lo mismo que las cenizas con los fenómenos climáticos y solamente un muestreo muy sistemático es confiable.

3.7 Materia orgánica en sistemas de producción agrícola

Bajo los sistemas de explotación rotativa (shifting cultivation) se tiene una utilización corta e intensiva del suelo seguida de una etapa larga de regeneración de su fertilidad. Es un hecho comprobado en los trópicos, que la fertilidad de los suelos y las cosechas disminuyen rápidamente después de la tumba y quema de los bosques y de la explotación del mismo. En casos extremos se ha informado sobre una disminución en un 86% de la producción en una segunda cosecha de maíz en el Congo. El grado de disminución en de la fertilidad depende de las características del suelo (contenido en humus, nitrógeno y otros elementos nutritivos, contenido de arcillas, pH, grado de agregación de las partículas, número y actividad de los microorganismos), de la secuencia o rotación de los cultivos (monocultivos llevan a una degradación acelerada), de la intensidad de explotación y de las prácticas de cultivo y control de la erosión utilizadas y desarrolladas. Las pérdidas de la fertilidad de los suelos se deben también a diversos procesos, entre ellos: falta de restos vegetales para la mineralización; el aumento de las enfermedades y parásitos; cambios en las propiedades físicas del suelo,

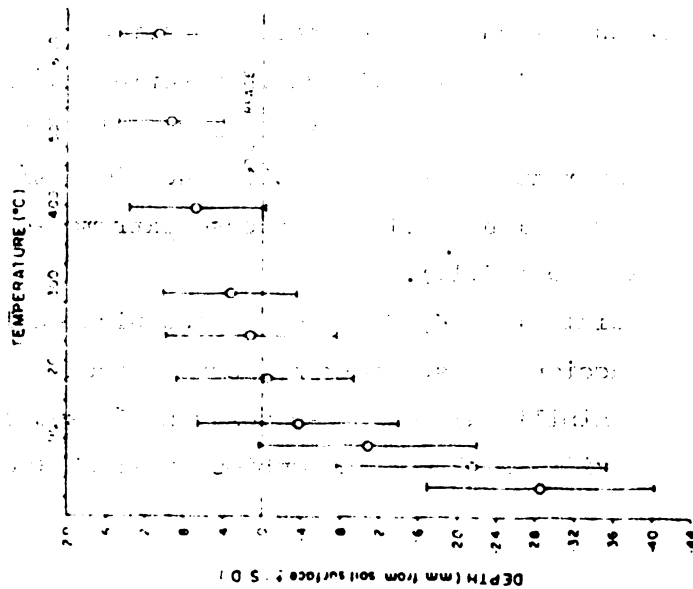


Fig. 3.10 Depth (cm) at which various soil and litter temperatures were reached during the burn (Lwel et al 1981).

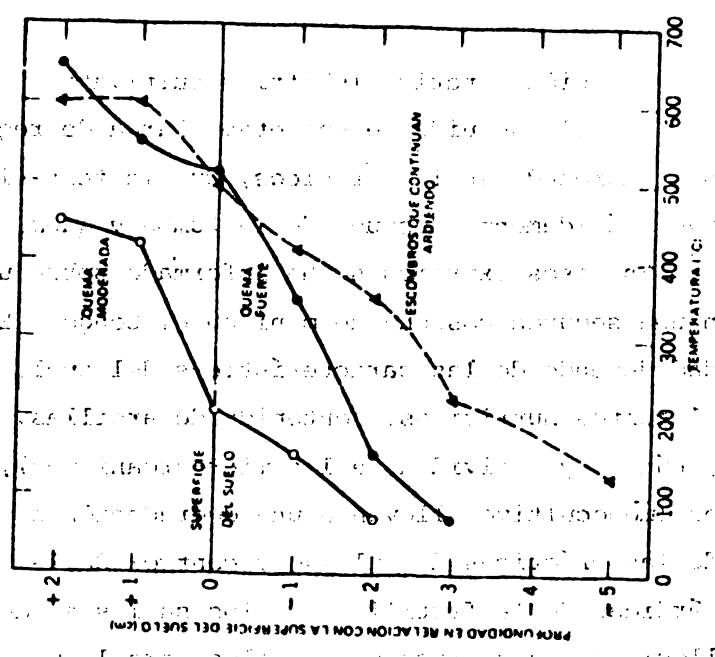


Fig. 3.9 Temperaturas del aire y del suelo en el momento de la quema en un Alfisol en Ban Pa Paes, Tailandia. (Fuente: adaptado de datos de Zinke et al. 1970)

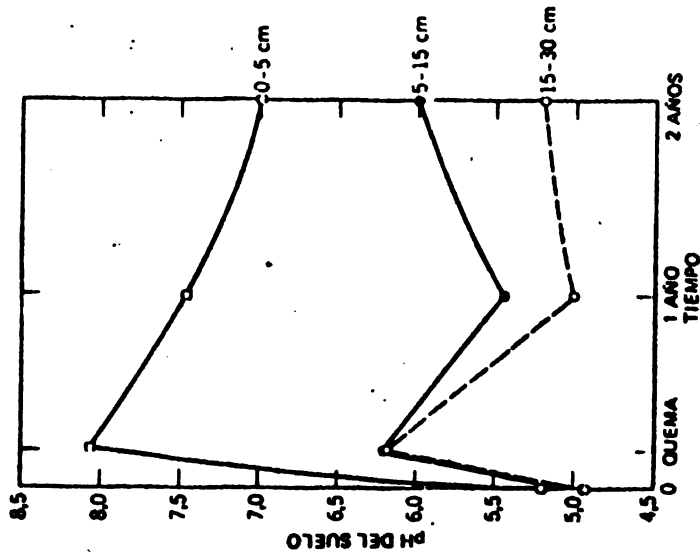


Fig. 3.12.- Cambios de pH a diferentes profundidades del suelo en Kake, Ghana. (Fuente: adaptado de Nye y Greenland, 1964).

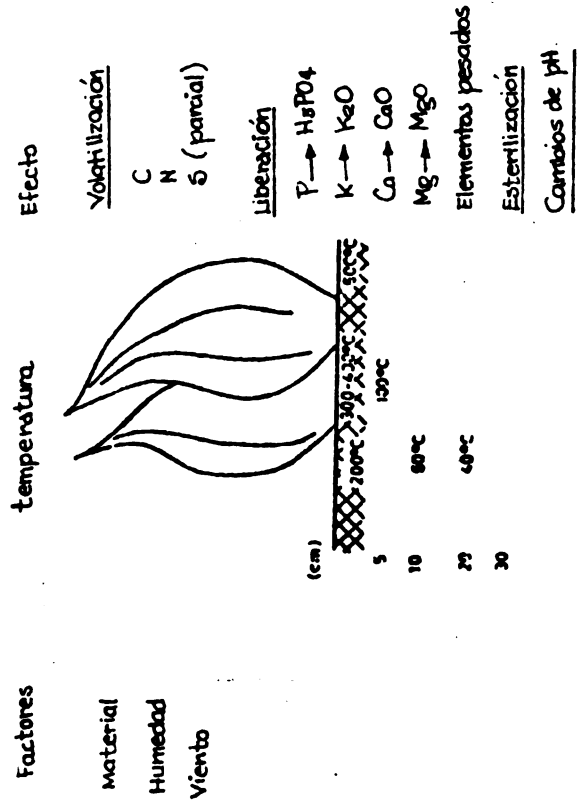


Figura 3.11. Efecto de la quema sobre los elementos nutritivos del suelo (Fassbender 1978)

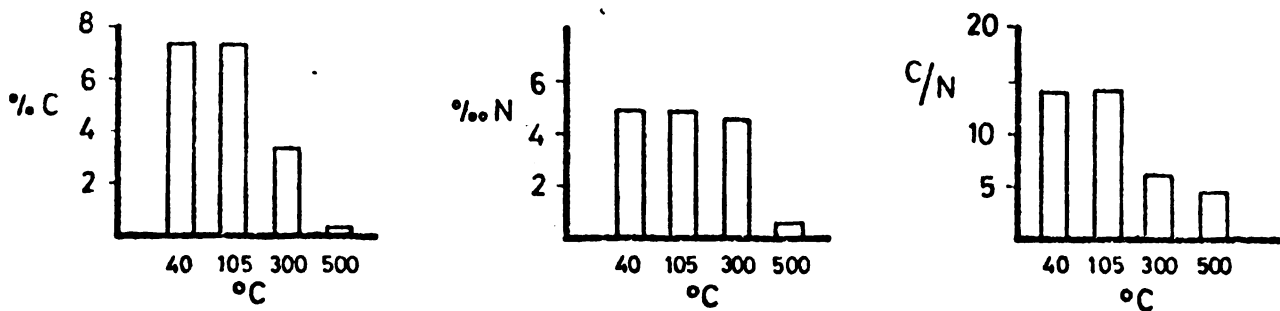


Fig. 1.—Efecto de las temperaturas sobre el C y N del suelo.

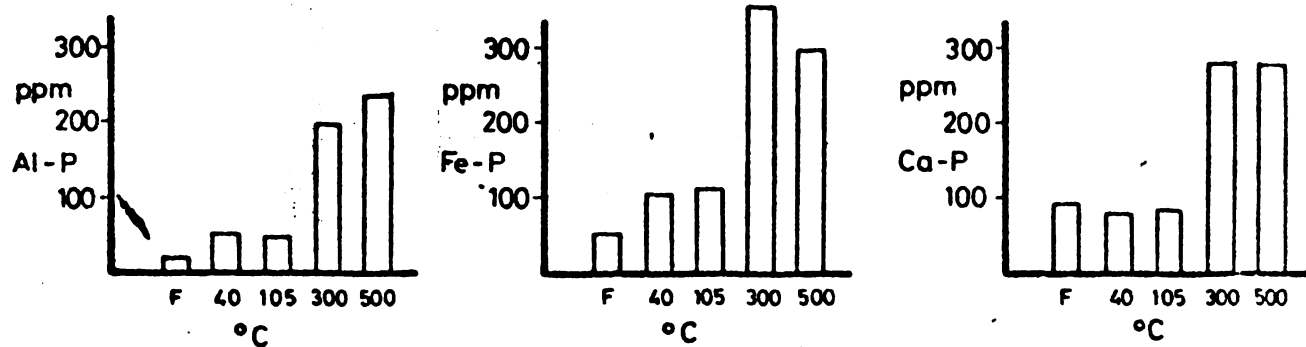
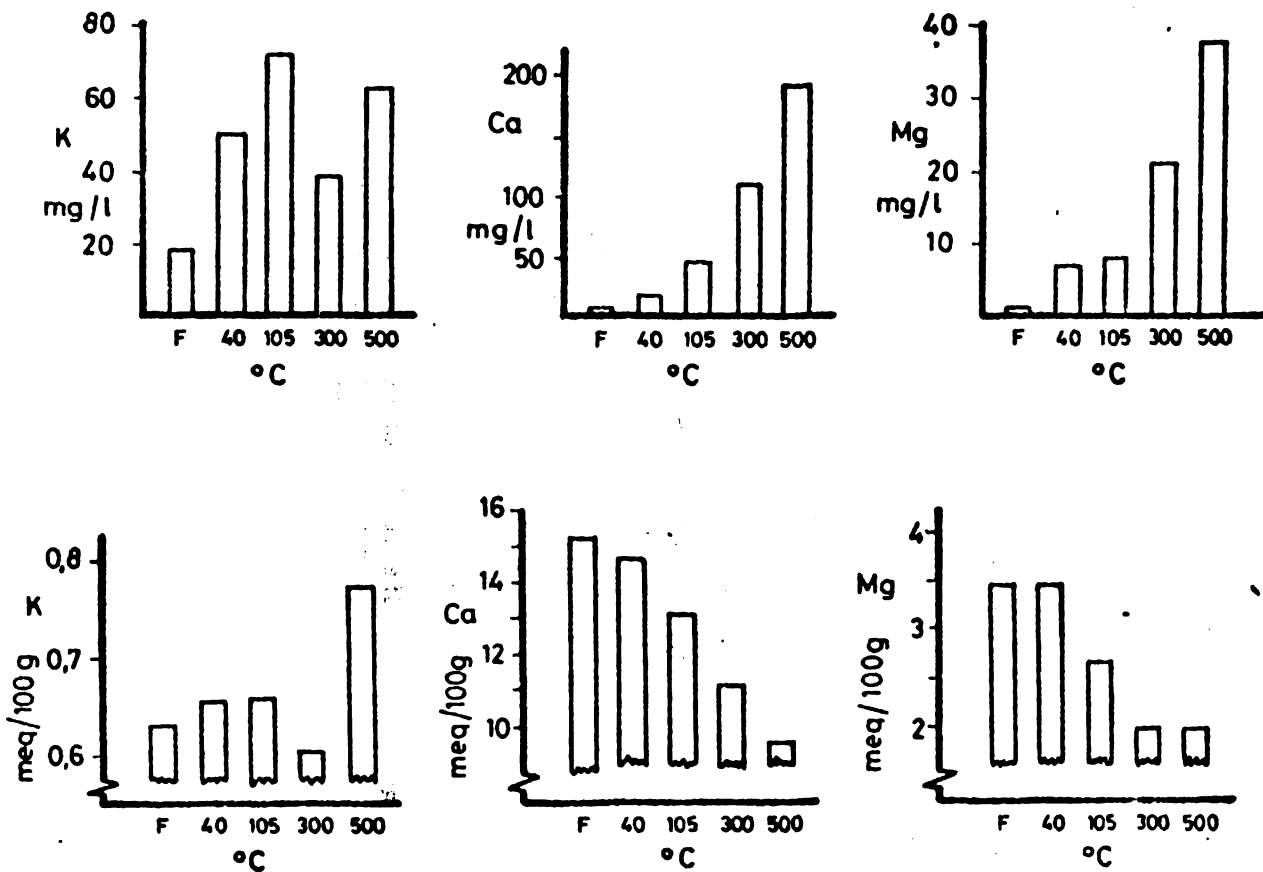


Fig. 2.—Efecto de las temperaturas sobre los fosfatos del suelo.



3.13.

Fig. 3.—Efecto de las temperaturas sobre los cationes presentes (parte superior) y cambiables (parte inferior), en la inyección del suelo.

CUADRO 3-4. Comportamiento del C y N en los suelos agrícolas bajo explotación. Disminución del contenido de C y N bajo diferentes condiciones climáticas y sistemas de cultivos. (Según Jagnow⁴¹)

Lugar	Lluvia (mm)	Explotación	Años	Muestra	pH	% C	% N	Disminución porcentual anual de humus (%)
1. Trinidad	2000	Explotación rotativa (Shifting)	-	Inicial		1,57	0,06	14,5
				Final		1,15	0,05	
2. Trinidad	2000	Maíz-leguminosa	6	Inicial	6,1	1,02	0,13	3,2
				Final	6,7	0,84	0,11	
3. Ghana	2080	Maíz-yuca	8	Inicial	6,0	2,19	0,164	4,8
				Final	5,0	1,50	0,128	
4. Ghana	1500	Yuca	6	Inicial	5,7	2,12	0,191	4,4
				Final	6,0	1,63	0,148	
5. Ceylon	1500	Explotación rotativa	2	Inicial	7,4	2,55	0,218	8,3
				Final	7,4	2,15	0,187	
6. Ghana	1500	Suelo desnudo	3	Inicial	6,9	2,41	0,230	25,0
				Final	6,7	1,03	0,117	
		+ cobertura	3	Final	6,8	1,44	0,155	15,8
		bajo cacao	3	Final	6,6	1,71	0,178	2,5
7. Uganda	1350	Algodón-sorgo	17	Inicial	6,2	3,30	0,292	6,5
		-crotalaria		Final	6,0	0,97	0,080	
8. Kenia	1020	Maíz-mucuna	4	Inicial	7,7	1,20	0,13	23,1
				Final	6,1	0,42	0,04	
9. Senegal	1300	Sorgo-maní	6	Inicial	6,4	0,75	0,15	6,8
				Final	5,4	0,50	0,15	
10. Ghana	1300	Yam-maní-camote	6	Inicial	6,2	0,36	0,034	4,0
				Final	5,7	0,28	0,025	

(*) La disminución porcentual anual de C es calculada según la fórmula $\frac{\delta C}{\delta t} = K C_{\text{final}}$ donde la disminución de humus en t años, al nivel C_{final} de acuerdo a una constante de proporcionalidad K.

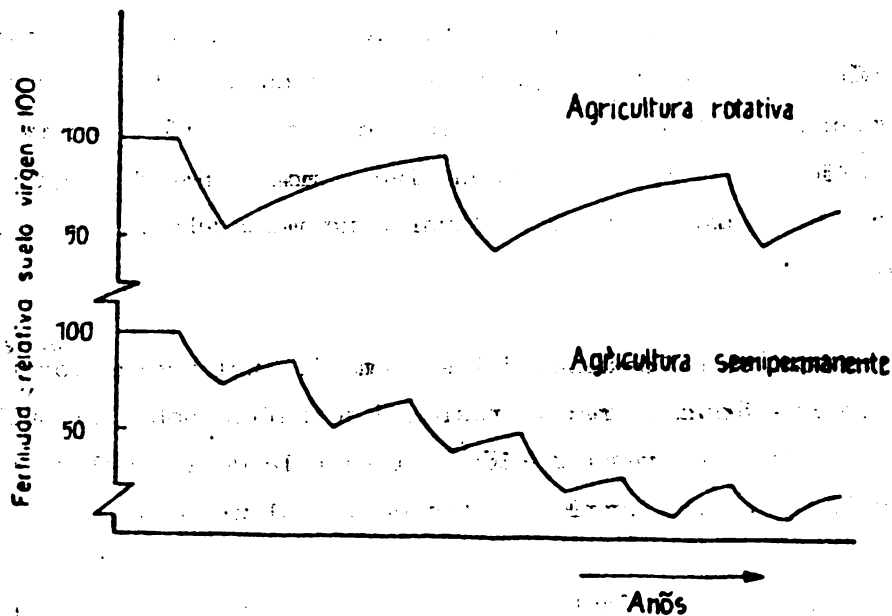


Fig. 3.14. Representación esquemática de la fertilidad de los suelos y su contenido en elementos nutritivos en función del sistema de explotación agrícola (Fassbender, 1975).

especialmente del régimen hídrico y de la aireación; pérdidas de elementos nutritivos tanto por extracción de los cultivos y lavado, como por erosión; pérdidas de humus por erosión y escorrentía y cambios en el ambiente microbiológico del suelo. Estos procesos por lo general ocurren todos juntos; la degradación de la fertilidad es el resultado colectivo y muy pocas veces es posible indicar una sola causa en el fenómeno. Generalmente después de una explotación intensiva del suelo entre 2 y 5 años se alcanza un grado tal de agotamiento de la fertilidad de los suelos que los agricultores optan por abandonar la parcela y tratan de encontrar una nueva para iniciar un nuevo ciclo de explotación, lo que da la nota típica del sistema rotativo de uso agrícola del suelo (Figura 3.14, Cuadro 3.4).

Algunos autores han tratado de evaluar matemáticamente el agotamiento del suelo, la pérdida de fertilidad y/o la disminución de los contenidos de C y N en los suelos en pl explotación rotativa (Cuadro 3.4).

En las parcelas abandonadas se produce una recuperación progresiva a largo tiempo de las condiciones y fertilidad del suelo. La duración de la regeneración dura entre 8 y 30 años aunque bajo condiciones favorables de suelo se puede acortar bastante. En esta etapa de "descanso" del suelo se desarrolla un bosque secundario, se acumulan de nuevo elementos nutritivos en la vegetación, se restablece la producción de restos vegetales y su mineralización y el suelo alcanza finalmente su fertilidad original. Algunos autores han determinado la acumulación de elementos nutritivos en la vegetación de regeneración y a han tratado igualmente de calcular matemáticamente la recuperación de estos elementos en el suelo. Un sistema de explotación rotativa bien planeado y conducida, implica la utilización productiva y momentánea de pequeñas afeas o parcelas y la regeneración a largo plazo sin llevar a un menoscabo la fertilidad de los suelos (Figura 3.14).

El problema socioeconómico del sistema de explotación rotativa radica en la falta de tierra en las áreas de mayor presión demográfica sobre el suelo y la necesidad de acortar la época de la regeneración y alargar la de la explotación, lo que ha causado desastres históricos, por ejemplo, dentro de la cultura maya.

En explotaciones agrícolas permanentes de tipo arbóreo se tienen condiciones muy similares a las de los bosques primarios con un ciclo interno de los elementos nutritivos a largo plazo; así las pérdidas de C y N son mínimas. En cultivos

permanentes monoculturales arbustivos o de plantas anuales o bianuales se tienen pérdidas de la fertilidad del suelo aún mayores que en los cultivos semipermanentes; sólo a través de fertilización y de las prácticas agrícolas se pueden compensar tales problemas. Como se trata generalmente de cultivos de alta remuneración económica son posibles tales inversiones.

3.8 La materia orgánica en sistemas de producción forestales

La recuperación de las parcelas abandonadas por la agricultura migratoria es lenta, pudiendo durar entre ocho y treinta años, dependiendo de las condiciones que se presenten. El proceso empieza con el desarrollo de un bosque secundario y la acumulación por la vegetación de elementos nutritivos, restableciendo la producción de restos vegetales y su mineralización para así alcanzar la fertilidad original del suelo. Esta regeneración produce una biomasa que varía de acuerdo a las condiciones ecológicas imperantes en la zona (figura 3.16,)

En sistemas forestales de plantaciones el ciclo de producción de restos vegetales y la disponibilidad de la materia orgánica forma, como ya se dijo un círculo completo. Se han hecho diversos estudios a fin de determinar los valores porcentuales en los distintos tipos de restos. Los distintos procesos que intervienen en la transferencia de nutrimentos dependen de los medios de transporte como el agua de lluvia a través del lavado foliar, escurrimiento por el tallo, escurrimiento superficial, percolación y drenaje del suelo; así como, de la producción de hojarasca. En general el funcionamiento completo es muy complejo y se han desarrollado nuevos conceptos y modelos matemáticos para tratar de explicarlos y ya se han obtenido algunos resultados sobre el ciclo de determinados elementos como el C, N, P y otros; en distintos sistemas agroforestales. Los cambios de la materia orgánica durante una rotación de *Pinus patula* en Tanzania se presenta en la Figura 3.16. La biomasa producida alcanzó 1000 t/ha, el cual se considera alto en comparación con la biomasa de bosques primarios.

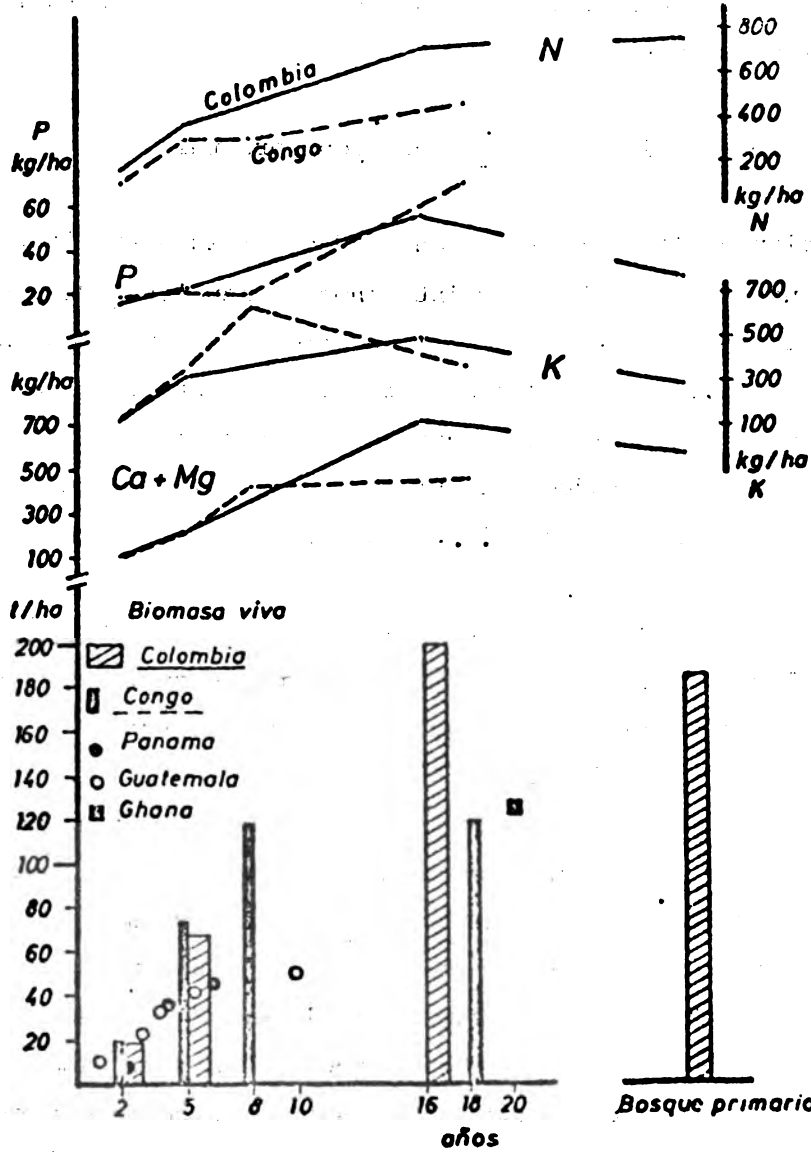


Fig. 3.15. Biomasa y elementos nutritivos en regeneración natural

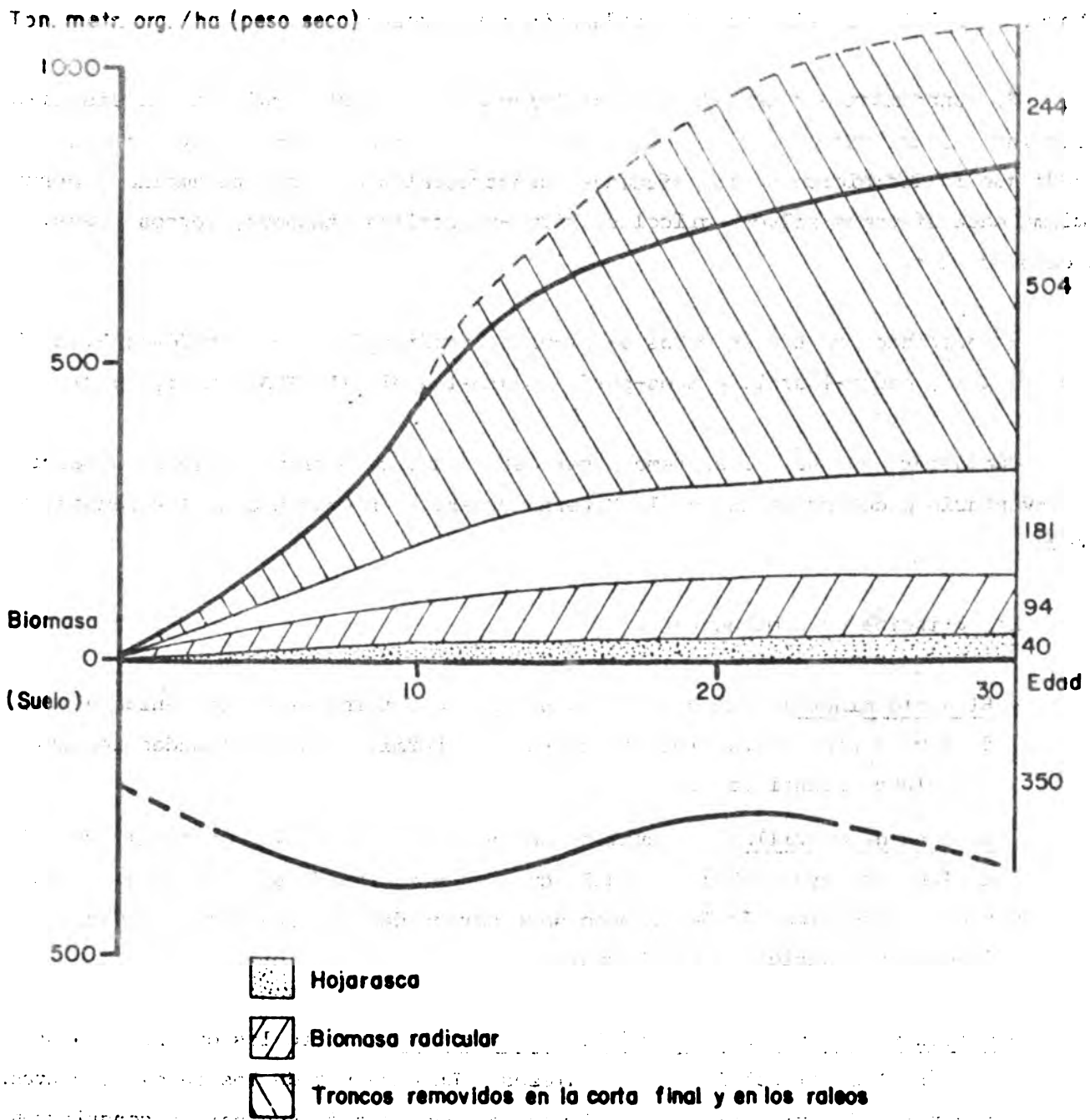


Fig. 3.16 Cambios en la distribución de la materia orgánica en la biomasa, la hojarasca y el suelo (0-50 cm) durante una rotación de Pinus patula en Tanzania (según Lundgren, 1978)

3.9 Materia orgánica en sistemas de producción agroforestal

El conocimiento detallado de los ciclos de la materia orgánica, en sistemas agroforestales evidentemente es un tema que necesita ser investigado en mayor número de casos, dado que la definición de los sistemas agroforestales es bastante amplia y dentro de la misma caen sistemas silvo- agrícolas, silvo-pastoriles, taungya, cercos vivos, huertos caseros, etc.

No obstante se tienen datos de algunos estudios de caso en café-porcó, café-laurel, cacao-porcó, cacao-laurel, pastos-porcó y pasto-laurel. (ALPIZAR et al, 1983).

Cualquiera que sea el sistema a ser estudiado, como primer paso es necesario hacer un inventario o determinación de la Materia Orgánica en cada uno de los compartimentos del sistema.

Los principales componentes son:

- El suelo mineral: en el cual es necesario determinar el contenido de (%) de M.O. y cada uno de los horizontes y determinar sus densidades aparentes para luego cuantificar.
- La capa de mantillo: la cual se define como todo residuo vegetal proveniente de los elementos arbóreos o del cultivo y que puede ser evaluada por muestreo y determinación de su peso seco por unidad de superficie y luego inferir su cantidad d por hectárea.
- Diferentes componentes: bióticos del sistema: Entre los que se encuentran los árboles, el cultivo y las malezas. En cada uno de los casos es conveniente hacer las determinaciones de biomasa de cada una de sus partes constituyentes tales como hojas, ramas, tallos, raíces y residuos que se producen a través del tiempo.
- Dinámica del sistema: Si bien en la primera etapa se cuantifica la materia orgánica en la estructura del Sistema agroforestal, es también importante considerar los fenómenos dinámicos y de transformación de la materia orgánica en el sistema.

En esta etapa se consideran

- Las fuentes de ingreso o insumos del sistema, entre las cuales están la lluvia, la fertilización, la fijación simbiótica, mano de obra, etc.
- Las salidas o productos del sistema tales como el caso del café, cacao, leña, erosión .
- Las interacciones: que se producen entre los componentes y que pueden regular la estabilidad del sistema.

En la figura 3.17 se presenta el ciclo de la materia orgánica de un sistema café-porcó implantado en 1977, en La Montaña, CATIE, Turrialba (ALPIZAR et al 1983). En el mismo puede verse que el retorno de materia orgánica al suelo es por la vía de los residuos producidos y también por las podas bianuales que se le efectúan al porcó.

Algunos detalles de la determinación de la biomasa se presentan en el Cuadro 3.5

Cuadro 3.5 Biomasa en los sistemas agroforestales de café con laurel y café con porcó

S I S T E M A	CAFE + LAUREL		CAFE + PORO	
	LAUREL	CAFE	PORO	CAFE
BIOMASA FRESCA				
Tallos (m ³ /ha)	59.09 ± 12.66	6.5 ± 1.04	32.01 ± 8.9	15.14 ± 2.98
Ramas (kg/ha)	8929 ± 1553	4601 ± 879	32364 ± 5323	7547 ± 496
Hojas (kg/ha)	7053 ± 2555	4680 ± 1670	16761 ± 1588	6119 ± 1186
BIOMASA SECA				
Ramas	62.36 ± 2.33	52.14	75.97	40.39
Hojas	67.8	58.92	71.89	55.9
BIOMASA SECA				
Tallos (kg/ha)	23802 ± 5570	3769 ± 604	7752 ± 2157	8780 ± 1227
Ramas (kg/ha)	3158 ± 490	2194 ± 367	7732 ± 944	3817 ± 224
Hojas (kg/ha)	2269 ± 818	1886 ± 531	4685 ± 198	2698 ± 526

Se determinó la biomasa en los sistemas agroforestales café con laurel, café con poró, cacao con laurel, cacao con poró, pasto con laurel y pasto con poró del Experimento Central "La Montaña" del CATIE en Turrialba, Costa Rica.

Los resultados se pueden resumir como sigue (kg materia seca/ha):

	Café con Laurel		Café con Poró	
Hojas	2194	3158	2698	7685
Ramas	3769	23802	8780	7752
Raíces finas	1497		866	
TOTAL	38565		36339	

	Cacao con Laurel		Cacao con Poró	
Hojas	2972	3410	2827	3279
Ramas	4043	4746	3030	9314
Tallos	2803	23711	2509	9318
Raíces finas	1396		595	
TOTAL	43081		30872	

	Pasto con Laurel		Pasto con Poró	
Hojas	-	5620	-	4196
Ramas	-	7904	-	6882
Tallos	-	31312	-	12030
Raíces finas	1187		323	
Total	46083		23431	

Se determinaron las cantidades de elementos nutritivos (N, P, K, Ca, Mg) acumulados en la biomasa. Aunque los contenidos de elementos es más alta en las combinaciones con poró, especialmente N, las cantidades totales acumuladas en las combinaciones con laurel son más altas.

RESIDUOS	3.1	LAUREL	29.3	
		HOJAS	2.3 ± 0.8	
	0.1	RAMAS	3.2 ± 0.5	
		TALLOS	23.8 ± 5.6	4.4
	2.0	CAFE		
		HOJAS	1.9 ± 0.5	
	0.04	RAMAS	2.2 ± 0.4	
		TALLOS	3.8 ± 0.6	
	0.4	FRUTOS	1.1 -	0.74
		RAICES (SIST.)	1.5	
	5.5	MANTILLO	4.9 ± 2.0	
		SUELO		
		0-15	837 ± 7.7	
		15-30	65.9 ± 11.7	
		30-45	46.0 ± 18.0	

FIG.3.17. MODELO DE LA MATERIA ORGANICA DEL SISTEMA AGROFORESTAL CAFE CON LAUREL. RESERVAS T/ha; TRANSFERENCIAS T/ha/año

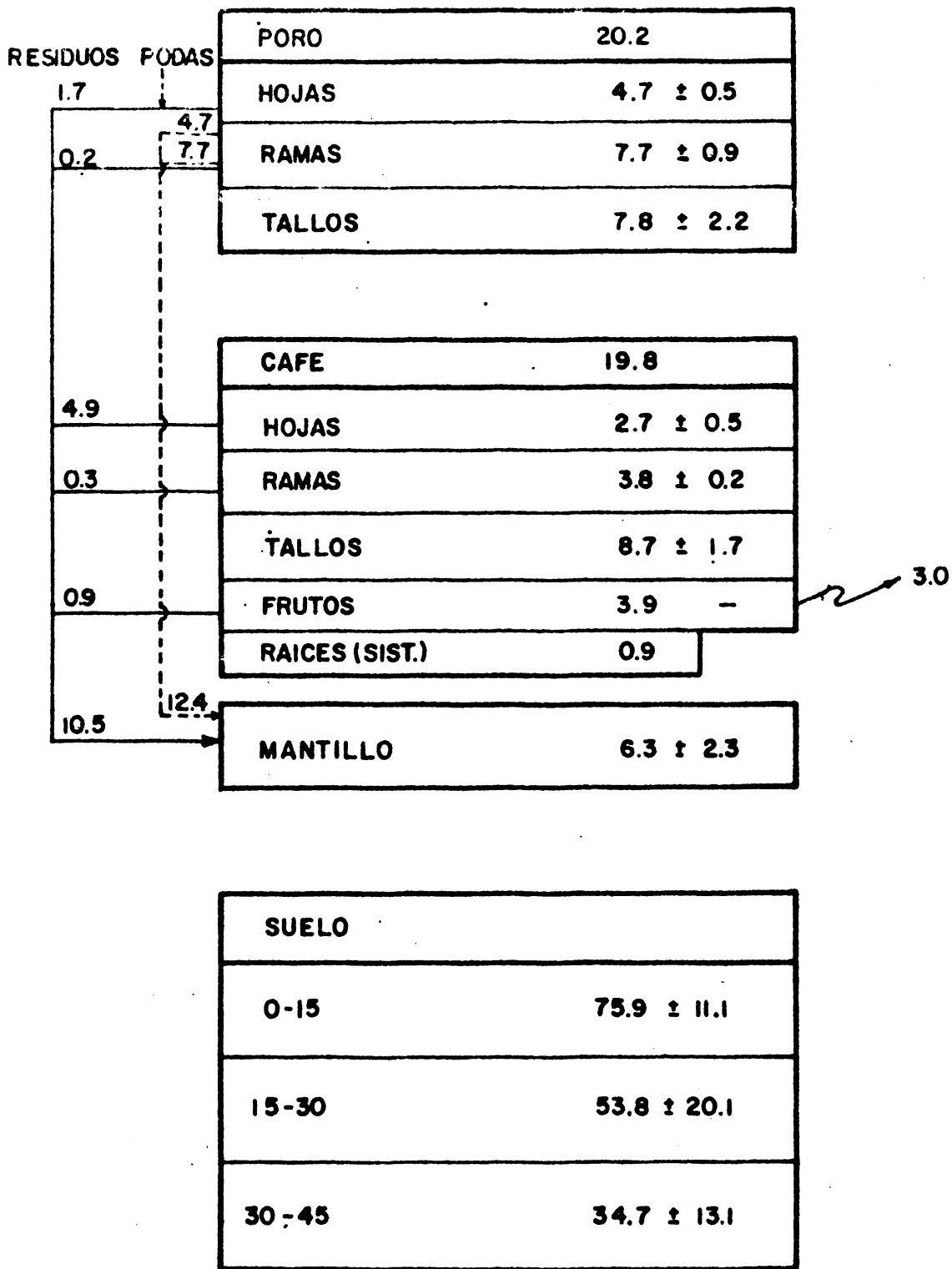


FIG. 3.1# MODELO DE LA MATERIA ORGANICA DEL SISTEMA AGROFORESTAL CAFE CON PORO. RESERVAS T/ha ; TRANSFERENCIAS T/ha/año

En la figura 3.18 se presenta el ciclo de la materia orgánica en un sistema café poró-laurel, Aquí a diferencia del caso anterior, el retorno al suelo es solamente por la vía de los residuos del componente arbóreo y el cultivo.

Comparando ambos sistemas puede verse que los valores en el suelo son similares, pero difieren en los demás compartimentos y en la dinámica del retorno y las transformaciones.

Producción de residuos vegetales

Si bien el inventario de las reservas en cada compartimento nos da una idea de la distribución de la materia orgánica en el sistema, la producción de residuos vegetales nos orienta sobre la circulación de la misma.

En los cuadros 3.6 y 3.7 y figuras, se presenta la producción de residuos en forma natural a través del año en los sistemas café con laurel y café con poró, en el experimento central de "La Montaña", CATIE, Turrialba, Costa Rica (ALPIZAR et al, 1983)

Por último en los cuadros 3.8 y 3.9 se hace una comparación de la fitomasa y de la producción de residuos en diferentes sistemas de Costa Rica, México y Venezuela.

TRATAMIENTO	CAFÉ + LAUREL						CAFÉ + PORO					
	Café hojas	Café ramas	Café frutos	Laurel hojas	Laurel ramas		Café hojas	Café ramas	Café frutos	Poró hojas	Poró Peciolos	
MATERIA SECA												
Noviembre 1981	72.9	3	5.1	252	3		183	4.5	30	165.9	21	
Diciembre 1981	83	15	8	365	9		340	17	92	398	46	
Enero 1982	78	1.2	5.6	187.2	11.2		134	20	94	484	72	
Febrero 1982	182.8	2	4	254	24		132	82	34.8	234	42	
Marzo 1982	283.2	0.4	1.6	362.8	4.8		428.3	18	14.8	10.8	2	
Abril 1982	306.3	0.52	16	387.2	0.2		602	9.2	26	1.2	0	
Mayo 1982	274	0.12	7.2	188.8	1.6		676	30	36.8	6	0	
Junio 1982	132.5	4	15	112.5	18.5		499	16	- 61	24	3	
Julio 1982	42.8	1.6	8	86	10		338.8	20	30	62	8.4	
Agosto 1982	127	0	52	205	5		404	45	136	76	4	
Setiembre 1982	162	0.8	138.8	280.8	18		252	28.8	146.8	44	4	
Octubre 1982	234.8	16	154.3	442.8	32.8		392	29.2	250.8	124.8	10	
SUMA ANUAL	1979.8	44.64	416.1	3124.1	138.1		4381.6	319.7	953	1730.7	212.4	
ELEMENTOS QUIMICOS												
Tipo de materia	N	P	K	Ca	Mg		N	P	K	Ca	Mg	
Café hojas	39.0	2.5	23.1	26.1	10.4		93.4	5.2	45.5	73.1	22.3	
Café ramas	0.5	0.0	0.2	0.4	0.1		4.8	0.3	2.1	3.2	0.8	
Café frutos	6.2	0.6	6.7	2.5	6.7		15.7	1.4	13.8	5.3	1.3	
Laurel hojas	67.4	4.0	23.1	77.1	25.3		50.8	3.2	11.2	36.0	7.2	
Laurel ramas	1.1	0.1	1.2	1.8	0.8		4.0	0.3	2.6	4.0	1.5	
SUMA TOTAL	114.4	7.4	54.4	110.1	37.4		174.8	13.6	75.4	121.8	33.3	

CUADRO 3.7 PRODUCCION DE RESIDUOS VEGETALES EN FORMA NATURAL EN LOS SISTEMAS CACAO CON LAUREL Y CACAO CON PORO (KG/HA)

TRATAMIENTO		CACAO + LAUREL					CACAO + PORO				
Tipo de material	Cacao hojas	Cacao ramas	Laurel hojas	Laurel ramas		Cacao hojas	Cacao ramas	Poró hojas	Poró peciotos		
MATERIA SECA											
Noviembre 1981	51	0	330.9	27		156.9	0	62.1	9		
Diciembre 1981	86	0	499	23.5		288	0	177	30		
Enero 1982	115.2	0.4	199	7.2		180	10	263.2	30		
Febrero 1982	766.8	16	230	10.8		504	0	372	8.8		
Marzo 1982	328	0	288	11.2		723.2	0	62	14		
Abril 1982	240.8	1.2	343.2	16		307.2	0	34.8	0.4		
Mayo 1982	258.8	0	140.8	7.2		346	1.2	112	15.2		
Junio 1982	461	4	52	23		576	2	470	7		
Julio 1982	254.8	18	56.8	23.2		354	0	97.2	4		
Agosto 1982	224	0	113	63		231	0	271	33		
Setiembre 1982	74	0	162	30		81.2	0	197.2	39.2		
Octubre 1982	100	0	278	6		192	6	126	40		
SUMA ANUAL	2960.4	39.6	2691.7	248.1		3939.5	19.2	2244.5	230.6		
ELEMENTOS QUIMICOS											
Tipo de material	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	
Cacao hojas	34.0	2.9	23.7	49.1	20.0	53.2	2.8	26.8	68.6	28.0	
Cacao ramas	0.4	0.1	0.5	0.5	0.3	0.2	0.0	0.2	0.3	0.0	
Laurel hojas	57.0	7.5	31.7	56.0	21.8	59.2	3.3	11.4	42.6	10.7	
Laurel ramas	3.2	0.3	1.4	2.5	1.3	3.0	0.2	1.6	4.5	1.7	
SUMA TOTAL	94.7	10.9	57.4	108.2	43.2	115.7	6.37	40.1	116.0	40.5	

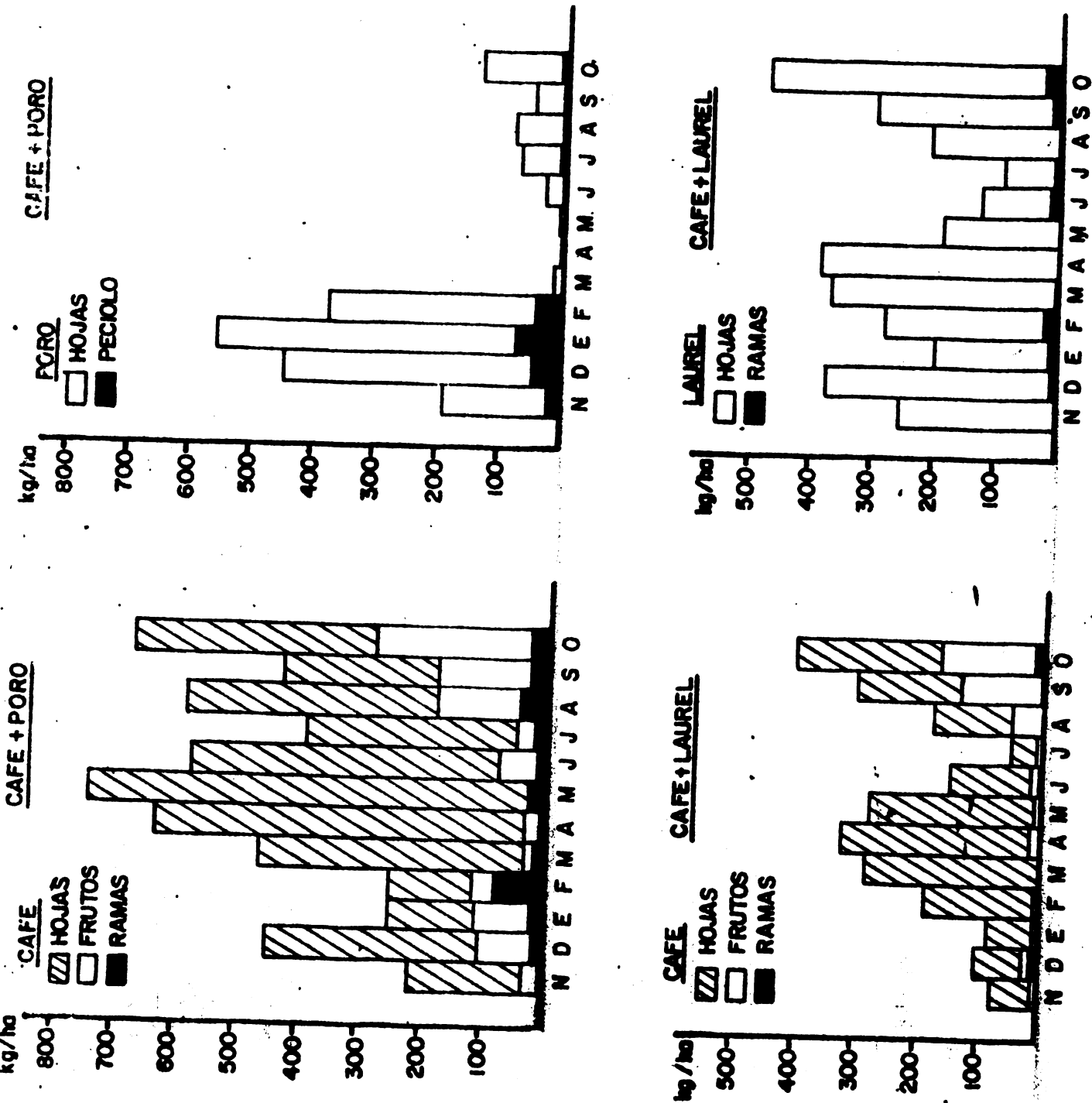


Figura 3.19 Producción de residuos vegetales en los sistemas café + poró y café + laurel.

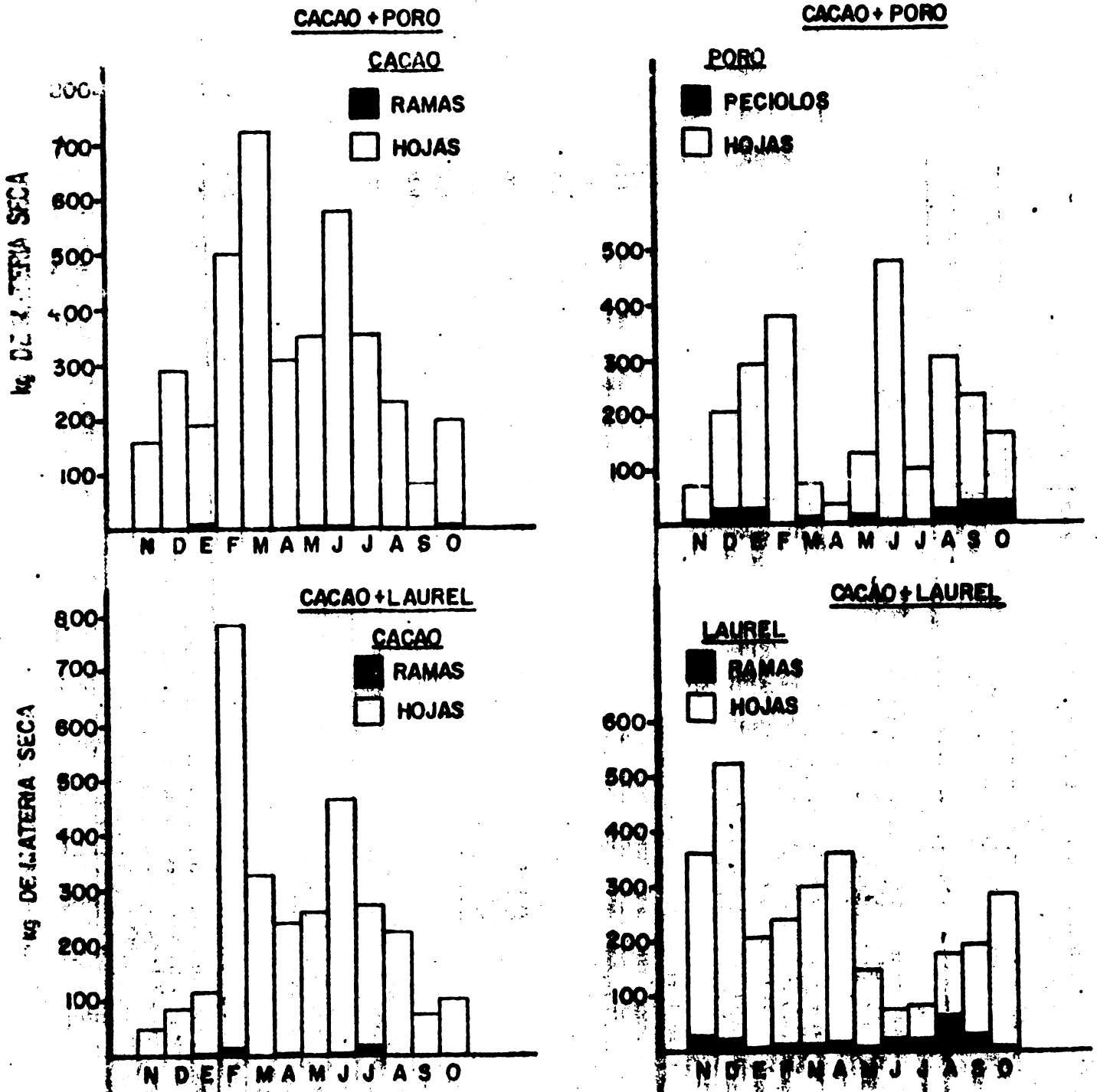


Figura 3.20 Producción de residuos agroforestales en los sistemas cacao + laurel y cacao + poro.

Autor	Lugar de estudio	Tipo de sistema	Plantas por ha.	Edad (años)	Biomasa seca total del cultivo (kg/ha)	Biomasa seca del cultivo (kg/ha)	Biomasa seca total de la sombra (kg/ha)	Biomasa seca de la sombra						
Aranguren, Escalante y Herrera (1982) (2)	40 km Oeste de Caracas, Venez. 1300 fts s.n.m.	Café + Inga sp. + Erythrina sp. + otros árboles de sombra.	5597	1931	7	40542.1	29268.3	7188.7	--	--	--			
Aranguren, Herrera 1982 (3)	Ocumare de la costa al Norte de Venezuela, 12 mts. s.n.m.	Cacao + Erythrina sp. + Castillon clausica + Anacardium occidentale + otros.	947	566	30	1/104.3	9879.1	4677.2	--	--	--			
Golberg y Jimenez Avila (1982) (15)	Teoulo, Veracruz, México	Café + Inga jinicuil + Mula sp.	3600	50	45	42	66	16713	2313	7560	6840	27940	17150	10360
Russo 1983	CATIE, Turrialba Costa Rica, 602 m.s.n.m.	Café + Erythrina proppigiana	4300	280	2	8	--	--	--	--	--	5068	1859	3259
Estudio de "La Montaña" Alpizar 1981-1982.	CATIE, Turrialba Costa Rica, 602 m.s.n.m.	Café + Erythrina proppigiana + Calliandra	5000	555	5	5	15295	2698	3817	8780	20169	4685	7732	7752
" "	" "	Café + Condia allodora	5090	185	5	5	7849	1886	2194	3769	29229	2259	3158	2302
" "	" "	Cacao + Erythrina proppigiana	1111	278	5	5	8362	2827	3030	2505	21905	3273	9314	9318
" "	" "	Cacao + Condia allodora	1111	278	5	5	9819	2972	4043	2804	31867	3410	4746	23711
" "	" "	Pasto + Erythrina proppigiana + Condia allodora	-	494	5	5	--	--	--	--	23108	4196	6882	12030
" "	" "	Pasto + Condia allodora	-	463	5	5	--	--	--	--	44824	5608	7904	31312
Beer (1982) (5)	La Suiza, Turrialba Costa Rica, 610 m.s.n.m.	Café + Erythrina proppigiana	3922	245	14	14	--	--	--	--	7785	3753	3992	--
Beer (1982) (5)	La Suiza, Turrialba Costa Rica, 610 m.s.n.m.	Café + Erythrina proppigiana + Condia allodora	3509	222	14	14-17	--	--	--	--	--	2958	1456	1502

1. Para el cuadro se tomó en cuenta el cultivo y la Inga jinicuil, solamente.
2. Los datos se refieren a la determinación por concepto de una poda del árbol noré.
3. Los datos se refieren a la suma de dos podas del árbol de eoré en un año.
4. Los datos se refieren a la suma de 3 podas del árbol de poré en un año.
5. Los datos se refieren exclusivamente a la suma de 3 podas del árbol de poré en un año, el laurel no se tomó en cuenta.

CUADRO 3.9. VALORES COMPARATIVOS DE PRODUCCION NATURAL DE HOJARASCA EN DIFERENTES SISTEMAS AGROFORESTALES

Autor	Lugar de estudio	Tipo de sistema	Plantas por ha		Edad (años)	Total de hojarasca (kg/ha)	Total de nutrientes (kg/ha)					
			Cultivo	sombra			N	P	K	Ca	Mg	
C.A.F.E												
Araguren, Escalante y Herrera 1982	40 km Oeste Caracas, Venezuela 1300 mts. S.R.M.	Café + Inga sp + Erythrina sp + otros árboles de sombra	5597	1931	7	11200	189					
Jiménez Arilla y Martínez Vera 1979	Cotacachi, Peracruz México, 1225 m.s.n.m.	Café + Inga Junculipeptoloba + Musa sp. + Citrus sinensis	-	-	2 a 20	5774						
-	-	Café + Inga Xanfaul	-	-	2 a 20	7451						
-	-	Café + Inga Tiptoloba	-	-	2 a 20	6702						
-	-	Café al sol	-	-	2 a 20	2079						
Suárez de Castro y Alvarado Rodríguez 1955 (20)	Zona cafetalera de Cologita 1700 a 1200 m.s.n.m.	Café + Inga sp.	-	-	de 5 y viaje	4690 + 13078						
Beer ² (1983) Beer y Glover 1983	La Suiza, Turrialba	Café + Erythrina poeppigiana	3922	245	14	4271	106.2	6.2	55.4	67.1	15.9	
Beer ² (1983)	La Suiza, Turrialba	Café + Erythrina poeppigiana + Cordia alliodora	3509	222 de poré +475 de laurel	14	7019	167.6	9.3	56.8	220.3	47.3	
Russo, 1983	Turrialba, C.R.	Café + Erythrina poeppigiana	4300	280	1 poda	4280	227.6	16.0	139.0	84.0	38.0	
Alpizar et al 1981-82	CATIE, Turrialba	Café + Erythrina poeppigiana	5000	555	2	1914	93.3	6.4	25.7	96.2	30.0	
C.A.F.O	-	Café + Cordia alliodora	5000	185	5	7596	174.9	10.7	75.4	121.9	33.4	
-	-	Cacao + Erythrina sp. + Café + Inga + Citrus + otros	5000	185	5	5703	114.4	7.5	54.5	110.1	37.4	
Araguren, Escalante y Herrera	0 mbro de la Costa al Sur de Caracas, Venezuela, 1200 mts. S.R.M.	Cacao + Erythrina sp. + Café + Inga + Citrus + otros	947	546	30	20849	320					
Soyer 1977	Campana	Cacao + árboles de sombra	-	-	-	8445	52	4	38	89	26	
Alpizar et al 1981-82	CATIE, Turrialba	Cacao + Erythrina poeppigiana	1111	278	5	6435	115.6	6.4	40.2	116.1	40.5	
-	-	Cacao + Cordia alliodora	1111	278	5	5940	94.7	10.9	57.4	108.3	43.3	

1. ALPIZAR, L., ENRIQUEZ, G., FASSBENDER, H.W. y HEUVELDOP, J. Estudio de sistemas agroforestales en el Experimento Central del CATIE. II. Producción agrícola y maderable, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Mimeo, 1983. p.
2. ALPIZAR, L., FASSBENDER, H.W. y HEUVELDOP, J. Estudio de sistemas agroforestales en el Experimento Central del CATIE, I Determinación de la biomasa y acumulación de reservas nutritivas (N, P, K, Ca, Mg) CATIE. Turrialba, Mimeo, 1983. p.
3. ALPIZAR, L., FASSBENDER, H.W., y HEUVELDOP, J. Estudio de sistemas agroforestales en el Experimento Central del CATIE. III Producción de residuos vegetales, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Mimeo, 1983, p.
4. ARANGUREN, J., ESCALANTE, G. y HERRERA, R. Ciclo de nitrógeno en cultivos tropicales permanentes bajo árboles de sombra. II. Cacao. Plant and Soil 67: 259-269. 1982.
5. _____. Ciclo del nitrógeno en cultivos tropicales permanentes bajo árboles de sombra. I. Café. Plant and Soil 67: 247-258. 1982.
6. BEER, J. y GLOVER, N. Litterfall in laurel-poró-coffe, plantations. CATIE, Turrialba, 1983. unpublished.
7. BENHARD-REVERSAT, F. Decomposition de la litiere de feuilles en foret ombrophile de basse Cote-d'Ivoire. Oecologia Plantarum 7: 279-300. 1972
8. BENHARD-REVERSAT, F. Nutrients in throughfall and their quantitative importance in rain forest mineral cycles. Tropical Ecological Systems, New York, 153-159. 1975.
9. DOMMERGUES, Y. Les cycles biogéochimiques des éléments minéraux dans les formations tropicales. Bois et Foret des Tropiques. 87: 9-25. 1963.
10. EDWARDS, P.J. Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea II. The production and disappearance of litter. Journal of Ecology 65: 971-992. 1977.
11. FASSBENDER, H.W. Ciclos de elementos nutritivos en ecosistemas tropicales y su transformación con la agricultura rotativa FAO/SIDA, Lima 1978. sin publicar.
12. _____, y GRIMM, U. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. II Producción y descomposición de residuos vegetales. Turrialba. 31(1): 39-47. 1981. Turrialba.
13. FOLSTER, H. y DE LAS SALAS, G. Litter fall and mineralization in three tropical evergreen forest stands, Colombia. Acta Científica Venezolana 27: 192-202. 1976.
14. FOLSTER, H. y DE LAS SALAS, G. y KHANNA, P.K. A tropical evergreen forest site with perched water table, Magdalena Valley, Colombia. Oecologia Plantarum 11: 297-320. 1976.

15. GOYBERG, A.D. y JIMENEZ AVILA, E. Estudios ecológicos en el agroecosistema Cafetalero IV: Distribución de la biomasa aérea en diferentes estratos del cafetal. INIREB 8030120, Xalapa, Veracruz, México. Apto 63. s.f.s.p. 1982 (publicación reciente).
16. GOLLEY, F.B. et al. La biomasa y la estructura mineral de algunos bosques de Darién, Panamá. Turrialba 21: 186-196. 1971.
17. GOLLEY, F.B. et al. Mineral cycling in a tropical moist forest ecosystem. Athenas, University of Georgia Press 248 p. 1975.
18. GREENLAND, D.J. and KOWAL, J.M.L. Nutrient content of the moist tropical forests of Ghana. Plant and Soil 12: 154-174. 1960.
19. GRIMM, U. y FASSBENDER, H.W. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. I. Inventario de las reservas orgánicas y minerales (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Al y Na). Turrialba, 31 (1): 27-37. 1981.
20. GRIMM, U. y FASSBENDER, H.W. III Ciclo hidrológico y translocación de elementos químicos con el agua.
21. HUPTEL, C. y BERNHARD-REVERSAT, F. Recherches sur l'écosystème de la forêt subéquatoriale de basse Côte-d'Ivoire I. Terra et la Vie 29: 203-228. 1975.
22. JENNY, H. Causes of the high nitrogen and organic matter content of certain tropical forest soils. Soil Science 69: 63-69. 1950.
23. JIMENEZ AVILA, E. y MARTINEZ VARA, P. Estudios ecológicos del agroecosistema Cafetalero II Producción de materia orgánica en diferentes tipos de estructura. Biotica 4(3): 109-126. 1979.
24. JORDAN, C.F. y KLINE, J.R. Mineral cycling. Some basic concepts and their application in a tropical rain forest. Annual Review of Ecology and Systematics 3: 33-50. 1972.
25. KLINGE, H. Bilanzierung von Hauptnährstoffen im Ökosystem eines tropischen Regenwaldes in Manaus. Biographica 7: 59-77. 1977.
26. LIKENS, G.E. et al. Biochemistry of a forested ecosystem. 146 p. New York, Springer. 1977.
27. LUNDGREN, B. Soil conditions and nutrient cycling under natural and plantation forest in Tanzanian highlands. Uppsala 1978, 426 p.
28. NYE, P.H. y GREENLAND, D.J. Changes in the soil after clearing tropical forest. Plant and Soil. 21: 101-110. 1964.
29. ODUM, H.T. A tropical rain forest. Washington, U.S. Atomic Energy Commission. 1970, s.n.

30. ROSSWALL, T. et. Nitrogen cycling in wet African Ecosystems. SCOPE/UNEP/IB, 1980, 450 p.
31. RUSSO, R. Efecto de la poda de *Erythrina poeppigiana* (Wolpers) O.F. Cook (poró), sobre la nodulación, producción de biomasa y contenido de nitrógeno en el suelo en un sistema agroforestal "Café + poró". Turrialba, Costa Rica, CATIE-UCR, Tesis Mag. Sc. 108 p. 1983. (unpublished).
32. DE LAS SALAS, G. Taller sistemas agroforestales en América Latina. CATIE, Turrialba, 1979, 226 p.
33. DE LAS SALAS, G. y FASSBENDER, H.W. The soil science basis of agroforestry production systems. In Neuveldop, J. y Lagemann, J. Agroforestry. Seminar in Turrialba, Costa Rica, 1981, 27-33.
34. TANNER, E.V.J. Four mai mountain rain forests of Jamaica: A quantitative characterization of the floristics, the soils and the foliar mineral levels, and a discussion of the interrelations. *Journal of Ecology* 65: 883-918. 1977.
35. UNESCO. Tropical forest ecosystems. Paris. 683 p. 1978.

CUARTO CAPITULO

CICLO DEL NITROGENO

4.1 El nitrógeno en el suelo

4.1.1 Contenido y formas de N en el suelo

El N es uno de los elementos esenciales en la nutrición de las plantas, está asociado en forma directa al C, en función de la relación C/N. Esta relación en condiciones de suelo normal tiene un valor entre 10 y 20, en casos extremos puede llegar a 30.

En suelos con alto contenido de materia orgánica, naturalmente, se tiene alto contenido de N. Un suelo con un contenido de materia orgánica mayor al 4% puede ser clasificado como un suelo altamente húmico. Si se tiene una relación C/N = 10, lógicamente el contenido de N es 0.4% implica que se tiene un suelo con alto contenido de N.

El origen de los suelos está relacionado con el contenido de materia orgánica y N. Así los suelos de las regiones bajas en su mayoría tienen un contenido de N de mediano a bajo. En tanto, los suelos derivados de cenizas volcánicas se caracterizan por tener valores altos de N. Por ejemplo, en suelos de origen volcánico de America Central, en el horizonte A, se tienen valores de 0.4 a 0.5% de N (Ver Cuadro 3.4).

El contenido de N en el suelo está en relación a su desarrollo y evolución a largo plazo de las rocas parentales. Las rocas originales que constituyen la corteza terrestre son rocas ígneas, formadas por la erupción de volcanes de lava y magma, a partir del núcleo interno de la tierra. En el momento en que estos materiales llegan a la superficie con temperaturas de más de 2000 ° C, se volatiliza el N por su alta inestabilidad. En realidad, temperaturas de 500 ° C son suficientes para volatizar el N.

En el proceso de evolución de la tierra, especialmente en la época precombrica, las constantes erupciones permitieron una gran acumulación de N en la atmósfera. contenido de N el aire es del 78% en promedio.

4.2.1 Formas del N en el suelo

El 95% al 98% del N en el suelo está asociado a sustancias orgánicas en función de la producción de biomasa por las plantas. Existen diferentes sustancias. El grupo de los aminoácidos se forma en la amonificación de los ácidos que resultan en el ciclo del ácido cítrico en el proceso de la disimilación de las plantas. Se conocen 20 aminoácidos esenciales, los que se polimerizan para formar oligopéptidos, péptidos, proteínas, proteicos.

En el grupo de azúcares aminados, aminos ligados a carbohidratos. Estos grupos aminicos de proteínas y azúcares aminados son muy favorables, porque en el momento de la mineralización de la materia orgánica se hidroliza el enlace entre el carbono y el nitrógeno, liberándose NH_4 ; que constituye el primer producto de la mineralización de las sustancias orgánicas de la planta.

Existen otras formas orgánicas, especialmente relacionadas a productos aromáticos heterocíclicos. Así se tiene una serie de compuestos como el Indol, triptofano, piridina, quinolina, melania, etc., donde el N forma parte de una cadena ciclica con una ligazón muy fuerte de N a la cadena. Los microorganismos del suelo no pueden romper estas ligaduras, así se tiene entonces, sustancias nitrogenadas no mineralizables que aparecen dentro del ciclo del N en la naturaleza.

4.2 Ciclo del N en la naturaleza, especialmente en el suelo

El NH_4 en el suelo está sujeto a un proceso de transformación llamado de nitrificación, pasando de NH_4 a NO_2 y a NO_3 . Este ciclo está a cargo de una serie de bacterias Nitrosomonas y Nitrobacter. El proceso de transformación de NO_2 a NO_3 es rápido, donde las bacterias Nitrobacter presentan una notable avidez por NO_2 , para luego transformarlo a NO_3 . Este proceso es muy favorable debido a que los NO_2 son tóxicos para la planta (ver Figura 4.1).

Existen en el suelo microorganismos que presentan un ciclo interno de N; inmovilizan el NO_3 , para formar nuevamente sustancias orgánicas nitrogenadas. Las reservas de N orgánica alcanzan 95 a 98% de N en el suelo; de ellos paulatinamente se forma NH_4 y NO_3 , formas inorgánicas total de N en el suelo que son absorbidas por las plantas. Las plantas presentan características genéticas de selectividad en la absorción de NO_3 y

NH_4 , aunque la mayoría de las especies son capaces de absorber ambas formas.

Después de la absorción, en la planta, se forman nuevamente sustancias orgánicas nitrogenadas, cerrándose prácticamente el ciclo suelo-planta. La absorción de NO_3 implica que en la planta se tiene que reducir a NH_4 para poder ser utilizada en la formación de proteínas.

El NO_3 y el NH_4 son compuestos que tienen una determinada carga electrostática. El NH_4 tiene una carga positiva y el NO_3 una carga negativa. En el suelo se presenta una interacción, entre un catión $(\text{NH}_4)^+$ con los cambiadores del suelo que son las arcillas las sustancias húmicas, los óxidos de Fe y Al; que tienen cargas positivas, formándose una fase de NH_4 cambiante, hasta cierto punto disponible para las plantas.

En el suelo existe un equilibrio químico entre NH_4 y el complejo de intercambio. En el momento en que la planta absorbe NH_4 , se libera del complejo coloidal NH_4 para compensar la pérdida debida a la absorción, existiendo de esta manera una disponibilidad continua de NH_4 . Por otro lado el NH_4 puede ser lixiviado perdiéndose en el agua.

El NO_3 puede ser también adsorbido en las superficies coloidales, siempre y cuando se tengan cargas positivas que atraen a las negativas del NO_3 .

La formación de las reservas de NO_3 y NH_4 son altamente dependientes del pH. Con valores bajos de pH se generan cargas electropositivas donde se adsorven los NO_3 . Existe un punto en el cual las cargas positivas y negativas de los complejos de intercambio desaparecen, presentándose entonces coagulación con un rápido lavado de los NO_3 a través del perfil del suelo, perdiéndose N.

Existen en la naturaleza procesos de fijación de N que trabajan en función de diferentes fenómenos. Así, se tiene una acumulación del N atmosférico en el suelo en función de las descargas eléctricas, que es el proceso que a largo plazo han contribuido más a la acumulación del N en los suelos y en los ecosistemas.

Durante las tormentas, los rayos que tienen temperaturas y valores de energía muy altos, llevan a la oxidación del N_2 de la atmósfera formándose los primeros óxidos que aparecen en el aire. Estos óxidos, de la forma N_2O_5 , reaccionan paulatinamente con el agua para formar el ácido nítrico (HNO_3). Con las aguas de lluvia se depositan

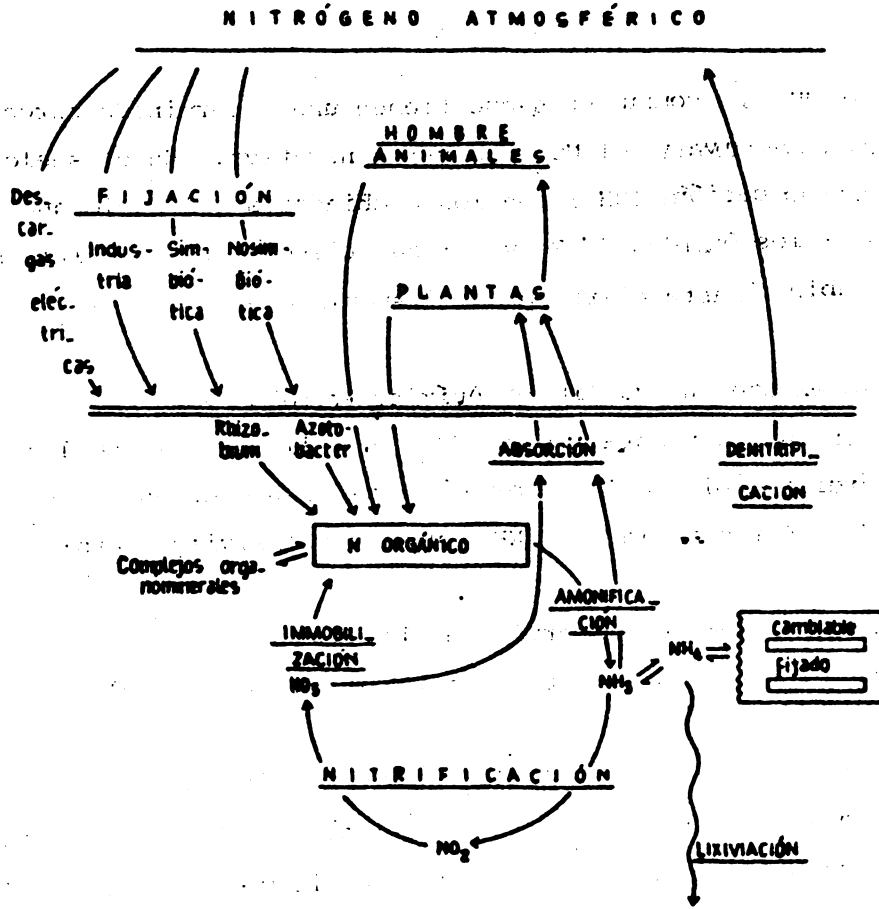


Fig. 4.1. Representación esquemática del ciclo del nitrógeno en la naturaleza (Según Stevenson, en Bartholomew y Clark¹⁹; Fassbender 1975).

determinadas cantidades de N en el suelo.

A nivel mundial, este proceso, durante millones de años ha estado participando en la acumulación de N en el suelo. La intensidad de esta acumulación depende del número de días de tormenta al año. En lugares con más de 200 días dentro de otros factores de tormenta al año se tiene una alta acumulación de N al suelo.

En Zambia, Africa, se han realizado determinaciones específicas sobre la deposición de N con las lluvias en función de la intensidad de las tormentas. Se ha demostrado que en las áreas costeras se tienen valores de 200 kg/ha y año. Estos valores disminuyen notablemente tierra adentro en los continentes; llegando a 10 y 15 kg/ha y año. En forma general, se tiene una acumulación de N al suelo por las lluvias de 15 a 25 kg/ha y año, que representa una parte de las necesidades de las plantas.

La fijación simbiótica y no simbiótica, procesos realizados por los microorganismos distribuidos en las capas del suelo, son procesos también muy importantes en la naturaleza. La fijación simbiótica está relacionada con un grupo de bacterias, Rhizobium, que existen como 20 cepas relacionadas con determinados grupos de leguminosas. El proceso es bioquímicamente complicado. En general se tiene una simbiosis, en la cual las bacterias se introducen y se multiplican en los tejidos de las raíces de las plantas hospederas, que están ofreciendo todo lo necesario a los microorganismos, inclusive N en una primera fase. A partir de un punto, las bacterias Rhizobium empiezan a fijar N en forma de aminoácidos, el ácido glutámico. En función de esto, cuando las bacterias van muriéndose se libera este ácido glutámico a la planta, que lo traslada a la parte aérea.

Las cantidades de N fijadas en el proceso simbiótico son muy discrepantes en lo que respecta a la información obtenida. Existen valores entre 20 y 1000 kg de N/ha de fijación en un ciclo de producción; Los valores mayores de 100 kg/ha y año son sin embargo dudosos.

La fijación no simbiótica, por otra parte, implica la existencia de microorganismos que sin una simbiosis presentan características de fijación. Por ejemplo las bacterias Azotobacter libres que existen en el suelo y que tienen la capacidad de fijar N, Pero, las cantidades fijadas son pequeñas (5-10 kg/ha y año).

... algunas especies de algas azules y verdes, y otras especies de bacterias asociadas con determinados pastos, donde existe una situación favorable tanto para el pasto como para la bacteria, que involucra la fijación de una determinada cantidad de N.

La actividad industrial y humana involucra una alta utilización de combustibles fósiles, que mediante la quema se produce una alta liberación no solo de N, sino también de S al aire en forma de SO_2 . Con esta acumulación se cubren generalmente las necesidades en S de las plantas, pero llevan a problemas de acidulación de los suelos.

El proceso de denitrificación puede ser biológico o abiológico. En el primer caso se tiene la participación de determinados microorganismos, Bacterium demitrificans (una bacteria denitrificante), se pierde hacia la atmósfera. Condiciones de inundación conllevan a una denitrificación biológica.

La denitrificación biológica depende de las características intrínsecas de los microorganismos como tales, de las poblaciones que existen, de las características del suelo, de la disponibilidad de nutrimentos, agua y aire, de las condiciones de pH, etc.

La denitrificación abiológica se presenta cuando existen condiciones muy específicas para determinadas reacciones químicas dentro de las diferentes grupos nitrogenados. En función de estas reacciones se pierde N hacia la atmósfera. Sin embargo no se conocen datos al respecto pero se suponen valores bajos en kg/ha y año.

4.3. El nitrógeno en ecosistemas forestales

Los datos presentados provienen de un estudio realizado en San Eusebio, Venezuela sobre los flancos occidentales de los Andes (Fig. 4.2). Tomando siempre el modelo de ecosistemas se ve que ocurre una entrada de 9.9 kg/ha y año de nitrógeno con las aguas de lluvia. Esta concentración (0.6 mg/litro de agua) se debe a la contaminación atmosférica que producen las explotaciones petroleras de la cuenca del Maracaibo. Las masas de aire contaminado (son transformados por los vientos alisios que al ascender se enfrían y condensan causando precipitaciones con los altos contenidos de N citados en este trabajo (Steinhardt, Fassbender, 1978).

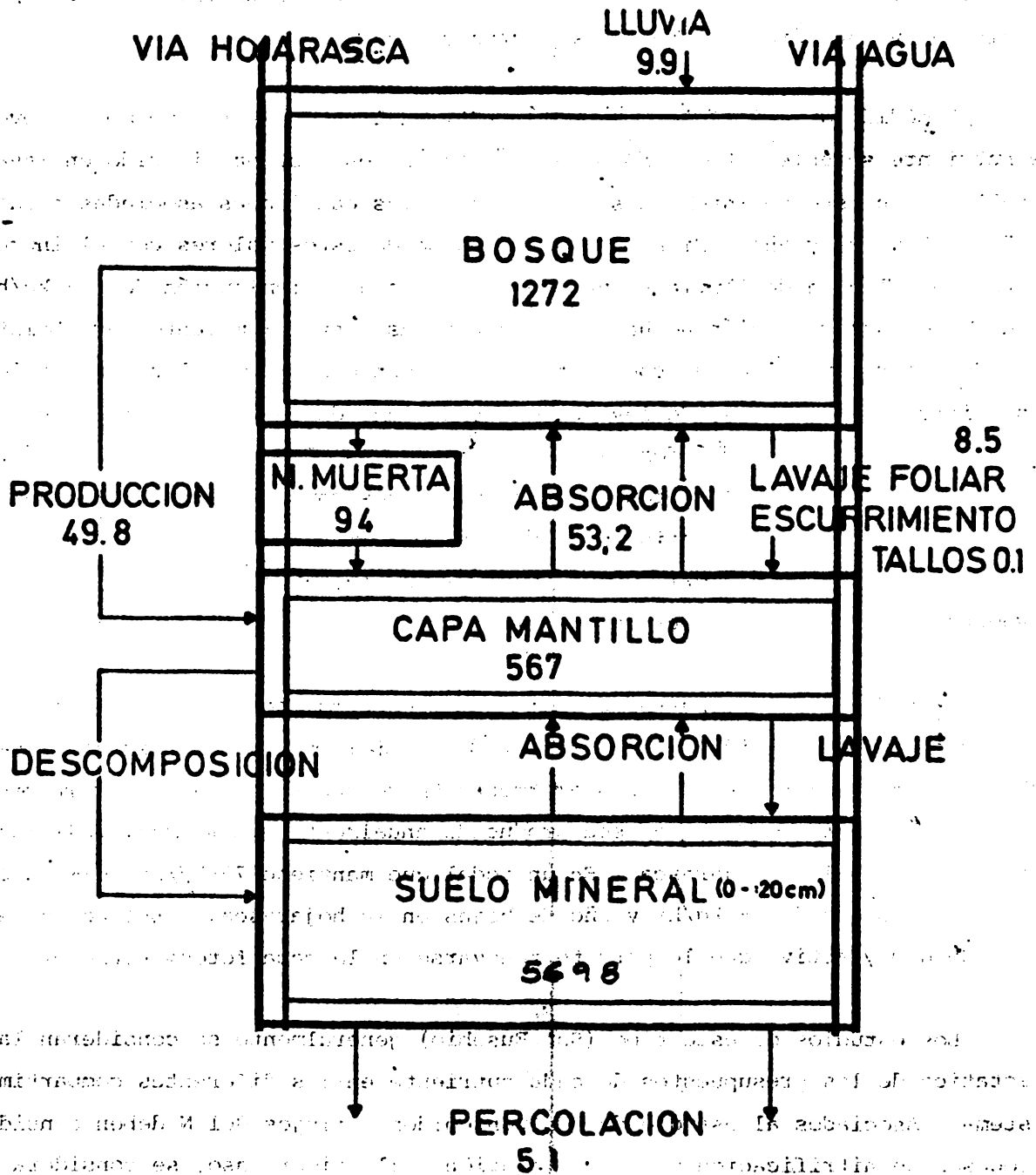
Asociado al balance hídrico dentro del ecosistema, se produce una translocación de elementos nutritivos, entre ellos el nitrógeno, que puede seguirse fácilmente. Así se ve un ingreso al ecosistema de 0 9.9 kg/ha y año en el agua de lluvia, un reservorio de 1.272 en la fitomasa viva, 94 en madera muerta, 567 en el mantillo, 6698 kg/ha en el suelo mineral y una pérdida neta de 5.1 kg/ha y año.

A medida que el agua de lluvia atraviesa la capa de vegetación, provoca un lavado de nutriente soluble. Para propósitos prácticos este se ha dividido en lavado foliar y de tallos. En este sistema se observa que las cantidades asociadas a cada proceso son 8.5 y 0.1 kg/ha y año. Si se compara la suma de estos valores con el ingreso de N al ecosistema en el agua de lluvia se ve que ha habido una disminución de 1.3 kg/ha y año. Las causas de esta reducción no han sido estudiadas hasta el momento pero existe la posibilidad de absorción foliar de compuestos i nitrogenados por la planta o por los microorganismos epifitos. El proceso de lavado foliar depende de las características de cada elemento. Por ejemplo, el fósforo es muy estable, los alcalinos y alcalinotérreos (K, Ca y Mg) son los más hábiles porque presentan grandes cambios en la concentración del agua al pasar a través del ecosistema. El caso extremo es el K; se han encontrado concentraciones de 0.4 mg/l en el agua de lluvia, 38 mg/l a la llegada al suelo y nuevamente 0.4 mg/l en el agua de percolación.

El ciclo del N es bastante activo y depende fundamentalmente de la producción de hojarasca. Si se considera la distribución de biomasa en el ecosistema y se asocia a ésta los contenidos de N en cada compartimento se ve que la velocidad de renovación del N depende de la cantidad de hojarasca producida anualmente. y aún más, de la cantidad de hojas en el total de hojarasca. En un rodal que mantiene 75 kg/ha de N en el follaje y con una producción de 38 kg/ha y año de hojas en la hojarasca, significa que se tiene un ciclo de N muy activo que le permite renovarse en la capa fotosintética cada 2 años.

Los estudios de este tipo (San Eusebio) generalmente se consideran la determinación estática de los presupuestos de cada nutriente en los diferentes compartimentos del ecosistema. Asociados al estudio de los contenidos y flujos del N deben considerarse los procesos de nitrificación y desnitrificación. El primer caso, se considera que no es muy importante en el bosque de San Eusebio, porque existen muy pocas especies leguminosas capaces de fijar nitrógeno atmosférico y porque la fijación asimbiótica en la epifilia es poco relevante.

Fig 4.2 CICLO DEL NITROGENO (Contenidos kg/ha, flujos kg/hay año)
(Grimm y Fassender, 1981).



Cuadro 4 Transferencia de elementos químicos con el ciclo hidrológico (kg/ha y año). (Fassbender y Grime, 1981)

Lugar, País (Autor)	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	Na
Lluvia									
San Eusebio, Venezuela	9.9	1.1	2.6	5.56	5.20	0.9	0.23	2.40	3.26
Manaos, Brasil (11)	10.0	0.3	-	3.7	3.0	-	-	-	-
Sta. Fé, Panamá (7)	0.96	9.5	-	29.3	4.86	3.0	0.43	-	-
El Verde, Pto. Rico (14)	14.0	-	-	33.6	26.3	-	-	-	335.1
Kade, Ghana (13)	14.0	0.42	17.5	12.7	11.3	-	-	-	-
Younde, Camerun (2)	12.0	1.7	12.0	3.8	1.5	-	-	-	-
Samaru, Nigeria (10)	4.8	-	37.2	1.0	2.9	-	-	-	61.1
Kampala, Uganda (19)	19.1	-	21.6	-	-	-	-	-	621.7
Kampala, Zaire (4)	6.4	-	2.0	3.9	1.1	-	-	-	1.7
ESCURRIMIENTO FOLIAR									
San Eusebio, Venezuela	8.5	1.4	69.7	6.86	3.30	0.47	0.24	2.3	4.40
Sta. Fé, Panamá (7)	0.61	50.0	-	37.5	9.80	4.28	0.34	-	-
El Verde, Pto. Rico (14)	72.0	-	-	69.4	25.2	-	-	-	211.7
Kade, Ghana (13)	26.5	4.1	237.7	41.6	29.2	-	-	-	-
Banco, Costa Marfil (1)	81.0	9.8	175.0	47.0	48.0	-	-	-	-
ESCURRIMIENTO TALLOS									
San Eusebio, Venezuela	0.06	0.02	1.0	0.12	0.04	0.02	0.003	0.03	0.03
El Verde, Pto. Rico (14)	-	-	-	11.3	6.06	-	-	-	3.18
EGRESO DEL SUELO									
San Eusebio, Venezuela	5.1	0.26	2.2	1.6	0.60	0.26	0.09	1.0	1.3
Sta. Fé, Panamá (7)	0.70	9.3	-	163.2	43.6	10.3	0.3	-	-
El Verde, Pto. Rico (14)	-	-	-	43.8	18.2	-	-	-	387.6

En general, es importante modelar la distribución de la materia orgánica en los diferentes compartimentos del ecosistema, ya que con este modelo básico se puede derivar todos los modelos de elementos particulares. Ahora bien, la importancia de los modelos de los ecosistemas permite predecir el comportamiento del sistema después de cualquier actividad de manejo.

Por ejemplo en un ecosistema forestal en Nueva Guinea se encontró que el 93% del contenido total de nitrógeno estaba en el suelo u o solo el 7% en la vegetación y mantillo. Esto significa que la tumba y quema del bosque significaría la pérdida del 7% del nitrógeno, el resto en el suelo, servirá para el desarrollo de un bosque secundario. En este caso, el ecosistema es bastante estable debido a la distribución de sus elementos nutritivos más importantes. Otros ecosistemas pueden presentar una distribución porcentual diferente, y en consecuencia una estabilidad diferente. Por ejemplo, en Manaos, Brasil el 93% está en la vegetación y el 7% en el suelo, En este caso, el efecto de la tumba y quema del bosque tendrá un impacto tremendo en el presupuesto de N del ecosistema. Esto no significa que este sea el elemento clave en el ecosistema.

CUADRO 4.2. Remoción de nutrimentos por los principales cultivos tropicales. (Fuente: compilación sin publicar de Publico Sanchez, Cornell University; Wrigley (1961); Ochse et al. 1961). Sánchez, 1979.

Cultivo	Parte	Rendimiento (ton/ha)*	Nutrimentos extraídos (kg/ha)						
			N	P	K	Ca	Mg		
VERBALES									
Yuca	Grano	1.0	25	6	15	3.0	2.0		
	Tallo	1.5	15	3	18	4.5	3.0		
	Total	2.5	40	9	33	7.5	5.0		
Papa	Grano	4.0	63	12	30	8.0	6.0		
	Caña	4.0	37	6	38	10.0	8.0		
	Total	8.0	100	18	68	18.0	14.0		
	Grano	7.0	128	20	37	14.0	11.0		
	Caña	7.0	72	14	93	17.0	13.0		
	Total	14.0	200	34	130	31.0	24.0		
	Grano	1.5	35	7	10	1.4	0.3		
	Paja	1.5	7	1	18	2.6	2.2		
	Total	3.0	42	8	28	4.0	2.5		
	Grano	8.0	106	32	20	4.0	1.0		
	Paja	8.0	35	5	70	24.0	13.0		
	Total	16.0	141	37	90	28.0	14.0		
	Grano	0.6	12	2.4	3	0.3	1.0		
	Paja	1.0	3	0.8	14	2.0	2.0		
	Total	1.6	15	3.2	17	2.3	3.0		
	Grano	5.0	80	22	20	2.5	8.0		
	Paja	5.0	38	5	60	10.0	10.0		
	Total	10.0	118	27	80	12.5	18.0		
	Grano	1.0	20	0.9	4	4.0	2.4		
	Paja	1.2	6	0.4	2	4.6	3.2		
	Total	2.2	26	1.3	6	8.6	5.6		
	Grano	8.0	135	10	27	16.0	9.6		
	Paja	8.0	65	4	13	18.0	12.8		
	Total	16.0	200	14	40	34.0	22.4		
Grano		1.1	17	5	59	-	-		

Continúa en página siguiente

RAICES ALIMENTICIAS

Yuca	Raíces	8.0	30	10	50	20	10
	Raíces	16.0	64	21	100	41	21
	Raíces	30.0	120	40	187	77	40
	Planta entera	59.0	64	19	176	102	26
	Raíces	55.0	42	28	291	43	19
Papa	Raíces	12.0	52	10	80	22	14
	Raíces	22.0	120	20	166	40	26
	Raíces	40.0	172	34	232	70	48
	Planta entera	62.0	147	19	403	60	31
	Tubérculos de la planta anterior	44.0	77	14	224	4	9
Camote	Raíces	16.5	72	8	88	-	-

LEGUMINOSAS DE GRANO

Frijoles	Granos	1.0	31	3.5	6	-	-
Soya	Granos	1.0	49	7.2	21	-	-
Maní	Vainas y granos	1.0	49	5.2	27	-	-

Pastos (producción anual, cortado cada 2 meses)

Guinea (<i>Panicum maximum</i>)	Parte aérea	10.0	107	27	180	78	49
	Parte aérea	23.0	288	44	363	149	99
	Parte aérea	35.0	560	77	600	230	133
Pangola (<i>Dactyloctenium aegyptium</i>)	Parte aérea	10.0	120	22	180	36	28
	Parte aérea	23.0	299	47	358	109	67
	Parte aérea	31.0	400	53	558	130	87
Elefante (<i>Pennisetum purpurascens</i>)	Parte aérea	10.0	144	24	180	35	30
	Parte aérea	25.0	302	64	504	96	63
	Parte aérea	46.0	800	92	900	129	87
Parí (<i>Bambusa nana</i>)	Parte aérea	8.0	80	17	160	28	16
	Parte aérea	24.0	307	43	383	115	79
	Parte aérea	30.0	600	69	660	135	66

OTROS CULTIVOS

Caña de azúcar (cosechas de 2 años)	Parte aérea	100	75	20	125	28	10
	Parte aérea	200	149	29	316	55	58
	Parte aérea	300	254	35	400	96	80
Algodón	Semilla	0.8	30	4.4	7	-	-
Café	Granos secos	1.0	25	1.7	16	1	2
	Hojas secas	0.6	31	2.3	15	2	-
Tabaco	Hojas curadas	1.0	116	14	202	-	-
	Latic secos	3.0	7	1.2	4	4	-
	Cañal	0.5	10	2.2	5	1	1
Palma jactera	Fruto	15.0	90	8.8	112	28	-
Banano	Racimo	10.0	19	2.0	54	23	30
	Tallo y hojas	-	20	1.3	22	1	3
	Total	-	39	3.3	76	24	33
Racimo		30.0	56	6.0	161	70	82
Tallo y hojas		-	29	4.0	65	2	8
Total		-	85	10.0	226	72	90

Paña 12.5

Cuadro 4.5 Elementos nutritivos extraídos por una plantación de pino del caribe de 6 y 10 años.

Materia	6 años						10 años					
	seca	N	P	K	Ca	Mg	Dry Weight	N	P	K	Ca	Mg
Hojas	9836	92.5	3.9	70.8	32.8	16.7	20233	126.0	6.1	151.8	70.8	36.4
Ramas	8287	25.7	1.7	12.4	17.4	5.8	16752	51.9	1.7	30.2	31.8	8.4
Tallos	35958	82.7	3.60	36.0	39.6	14.4	76488	137.7	7.7	61.2	61.2	23.0
Corteza	7893	20.5	0.8	6.31	7.9	3.2	20951	58.7	2.1	14.6	23.0	6.3
Raíces	15600	39.4	1.56	31.2	21.8	9.4	34149	82.0	6.8	68.3	64.9	27.3
R. muertas	—	—	—	—	—	—	2704	7.0	0.3	1.9	4.3	0.8
Hojarasca	3700	18.1	0.4	8.9	7.0	3.6	19710	88.7	2.0	47.3	39.4	13.8
TOTAL	81274	278.9	11.91	137.1	126.2	62.1	190990	598.3	26.7	375.0	295.5	116.0

Egunjobi, Bada. Biotropica 11, 130-135, 1974.

Cuadro 4.4. Extracción de nitrógeno en una plantación de teca de 25 años

Partes Planta	Biomasa (kg ha ⁻¹)	% N	kg/ha	% de total
Tallos	247 864	0.23	515.5	54
Corteza	36 242	0.42	152.6	16
Ramas	49 694	0.42	204.3	22
Hojas	5 654	1.49	79.2	8
TOTAL	339 533	-	951.6	100

Nwoboshi, L.C. Nitrogen cycling in a teak plantation ecosystem in Nigeria. In Rosswall, T. 1980.

Cuadro 4.3. 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. = 30 x 2

4.4 El Nitrógeno en sistemas de producción

4.4.1 El nitrógeno en suelos de producción agrícolas

Los contenidos, formas y el contenido del nitrógeno en el suelo ha sido descrito anteriormente en asociaciones con la materia orgánica. Los efectos de la tumba y quema de los bosques para utilizar el suelo en sistemas agrícolas conllevan una pérdida muy notable del nitrógeno. Las pérdidas de este elemento nutritivo implican una disminución de la fertilidad de los suelos, causando los problemas descritos anteriormente.

La remoción de nitrógeno por las especies cultivadas es notoria (Cuadro 4.2), ello implica que para mantener la fertilidad de los suelos es necesaria la fertilización. En las rotaciones de cultivos es conveniente considerar a leguminosas, quienes en base a la fijación del N colaboran con el mantenimiento de la fertilidad.

4.2.2 El nitrógeno en sistemas de producción forestales.

En el caso de plantaciones forestales la información es esporádica, pero resulta evidente que la cantidad de residuos producida anualmente es menor que en los ecosistemas naturales. Esto significa además que los ciclos de nutrientes (N entre ellos) son relativamente más lentos. Por ejemplo, Nwoboshi trabajando en plantaciones de teca en Nigeria encontró que la cantidad de N en la hojarasca ascendía a 50 kg/ha/año, y en cambio, ecosistemas naturales producen entre 100 - 200 kg/ha/año (Cuadro 4.3).

Otro aspecto que es importante considerar en el caso de plantaciones forestales es la cantidad de elementos nutritivos contenidos en la materia madera al momento de la cosecha. Lundgren (1978) trabajando en Tanzania con Pinus patula y Cupressus lusitanica encontró que las plantaciones absorbían anualmente entre 60 y 40 kg/ha/año a lo largo del turno de 30 años y que la exportación final ascendía a 2000 y 1260 kg de N por hectárea (Cuadro 4.4).

Este tipo de estudios permite conocer los efectos posibles de las plantaciones forestales sobre la capacidad productiva del suelo. Por ejemplo, investigaciones en Venezuela con plantaciones de P. caribaea indican que dos rotaciones sucesivas agotarían

completamente el K del suelo. Esto obliga a pensar inmediatamente en programas de fertilización y por lo tanto a considerar nuevos componentes económicos en el análisis de factibilidad de los proyectos forestales (Fassbender, et al, 1979).

Las reservas nutritivas acumuladas en plantaciones de Pinus caribaea a los 6 y 10 años son considerables (Cuadro 4.5). La remoción total de N en el suelo alcanza a los 10 años un valor de 500 kg/ha).

4.4.3 Nitrógeno en sistemas de producción agroforestales

Los sistemas de producción agroforestal presentan interacciones entre las plantas con mayor grado de complejidad, debido al arreglo espacial y temporal entre los componentes involucrados.

El componente arbóreo en los sistemas referidos, proporciona cantidades altas de residuos vegetales en el suelo, los cuales a través del proceso de degradación y mineralización, liberan los elementos nutritivos al suelo para su incorporación al sistema de nuevo.

Entre esos elementos figura el N el que presenta ese comportamiento, a diferencia del C y N en los sistemas agrícolas de explotación rotativa, caracterizados por una utilización intensiva durante un tiempo corto y seguida de un período de barbecho, mientras se busca otra parcela debido al agotamiento de la primera.

En la literatura son pocos los ejemplos más o menos completos sobre el reciclaje del N en sistemas agroforestales. Algunos de ellos son presentados por Aranguren, et al, 1982.

Cacao más leguminosas (Figura 4.3)

En este sistema las reservas presentes en el suelo mineral son las más grandes con respecto al resto del sistema. La producción de residuos vegetales está en 310 kg/ha y año, conllevando al aporte de 44.6 kg/ha y año (Figura 4.7).

Un arreglo especial de reciclaje se mantiene en este caso, en el que las cáscaras de las semillas de los frutos del cacao una vez cosechados y separados, son

reintegrados al sistema, reactivándolo a través del ingreso de 89 kg/N y ha proveniente de las cáscaras.

Café c más leguminosas (Figura 4.4)

En este caso, el cafetal posee 20 años de establecido y en él no se han realizado prácticas de fertilización.

La reserva de N en el suelo, 49000 kg/ha viene siendo una cifra muy superior, comparada con la cantidad de N presente en los componentes bióticos, tales como el café y las leguminosas.

Mediante los procesos de incorporación de residuos vegetales provenientes del café: 254 kg/ha y año y de las leguminosas 433 kgs/ha y año, se alcanza una deposición de 170 kgs/ha y año sobre la capa de mantillo. Los residuos son mineralizados e introducidos en el suelo siendo nuevamente objeto de la absorción.

Lo interesante en este sistema, es que con una cosecha de 8 700 kgs de frutos secos, se están exportando 17.2 kgs N/ha y año. El dato de reciclaje del elemento a través de la pulpa del grano la cual se reintegra al sistema para las activación del ciclo, corresponde a 3.2 kgs.

Existen otros ensayos agroforestales que se describen a continuación (ALPIZAR et al, 1983).

1 Café con laurel (Fig. 4.5)

En este modelo la mayor reserva del N se encuentra en el suelo mineral, 700 kg en tanto el componente biótico integrado por el laurel y el café representan 186 y 33 kg/ha / año, respectivamente.

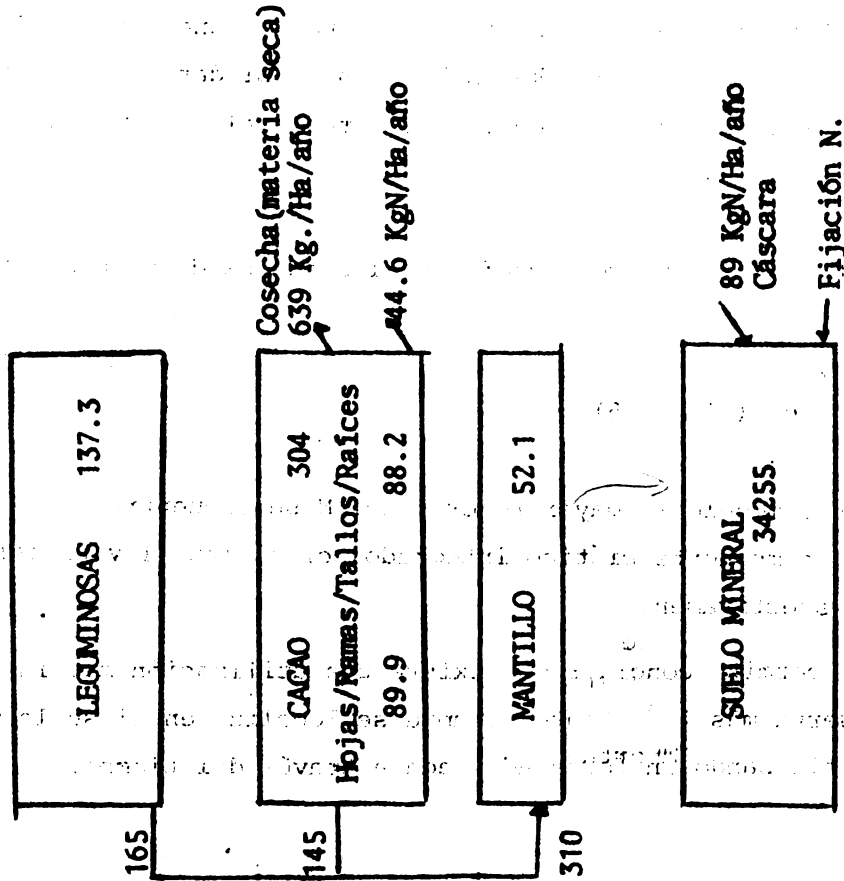
Ello permite concluir que existe una utilización muy intensa de N en el suelo, pero que la reserva más importante siempre se localiza en el suelo mineral la cual el sistema viene utilizando en forma adecuada a través del tiempo.

Fig. 4.3 y 4.4. CICLO DEL NITROGENO EN SISTEMAS AGROFORESTALES (1)

1. Cacao + sombra leguminosas

Lugar: Hda. Monasterio, Edo. Caracas, Venezuela: (739 mm., 25.8°C, 72 m.s.n.m.)

Contenidos: Kg/Ha.
Flujos: Kg/Ha/año.



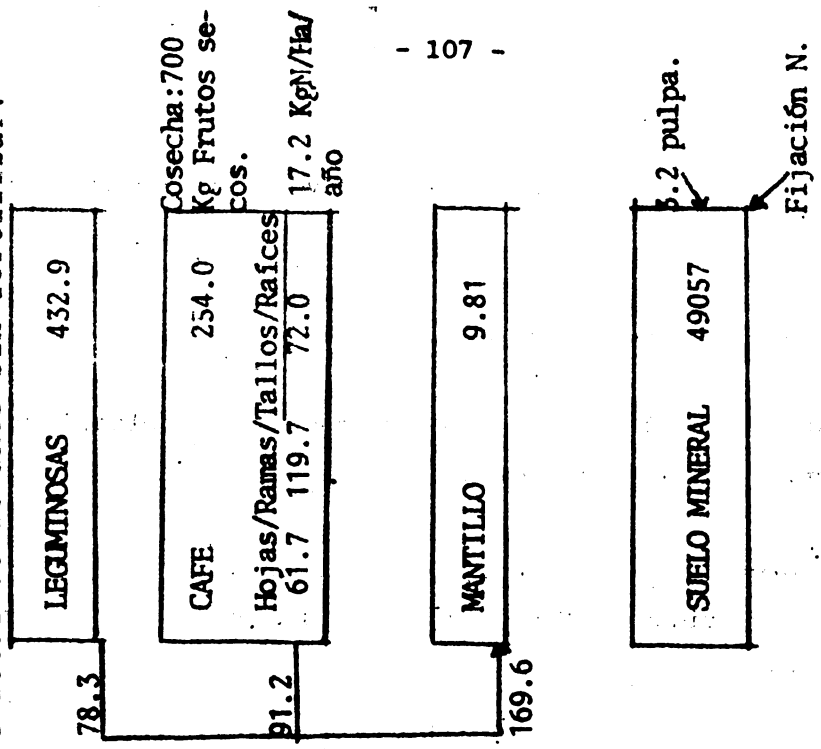
N. TOTAL 34748

(1) Fuente: Aranguren et al. 1982

2. Café + sombra leguminosas

Lugar: Hda. La Guayra, Caracas, Venezuela (1200 mm., 20°C, 1380 m.s.n.m.)

Contenidos: Kg/Ha.
Flujos: Kg/Ha/año
Cafetal de 20 años sin fertilizar:



N. TOTAL 4977.3

En el inicio de la plantación no existe el componente biótico que alcanza 427 kg/ha acumulados durante 5 años, lo que representa una tasa media de absorción de N de 85.4 kgsN/ha y año. Este enfoque puede verse desde 1 dos puntos de vista:

- i) Desde el ciclo interno que se está produciendo en el suelo interactuando con los componentes bióticos
- ii) Desde la exportación que se está produciendo del N fuera del sistema.

Del total producido: 427 kgsN/ha, aproximadamente solo una cuarta parte está involucrada en el ciclo anual de producción: 112 kgs/ha. y año. De esta cantidad 66 kg provienen de la hojarasca de laurel debido a la caída de las hojas, 38.2 kgs son de las hojas del café, las que tienen un ciclo anual de vida por el renuevo del follaje y caída de las hojas más viejas.

Parece que algo anormal caracterizó a la cantidad de frutos rp reportado como residuo vegetal del sistema. La exportación por concepto de frutos correspondió a 11 kgs N/ha y año.

En este sistema no se hizo la cuantificación de la lluvia como fuente de ingreso de N al sistema. Sin embargo, si se toman valores oscilantes entre 10-20 kgs, se tendría una cifra equiparable con la salida del sistema: 11 kgs.

Otro ingreso de N al sistema lo representa la fertilización con 80 kgs/ha el cual activa excesivamente el sistema, el que a través de los procesos de mineralización en el complejo orgánico del suelo produce los nitratos y el amonio que van a ser absorbidos por la planta.

2. Café con poró (Figura 4.6)

En este sistema, las cantidades presentes en el suelo son comparables. En función del sistema, se ha producido en el mantillo 136 kgs N/ha, 261 kgN/ha proveniente del café y 341 kgN/ha de poró, por tanto la utilización de la reserva nitrogenada en el suelo es más elevada en función de su arreglo espacial y temporal para producirse ayuda mutua.

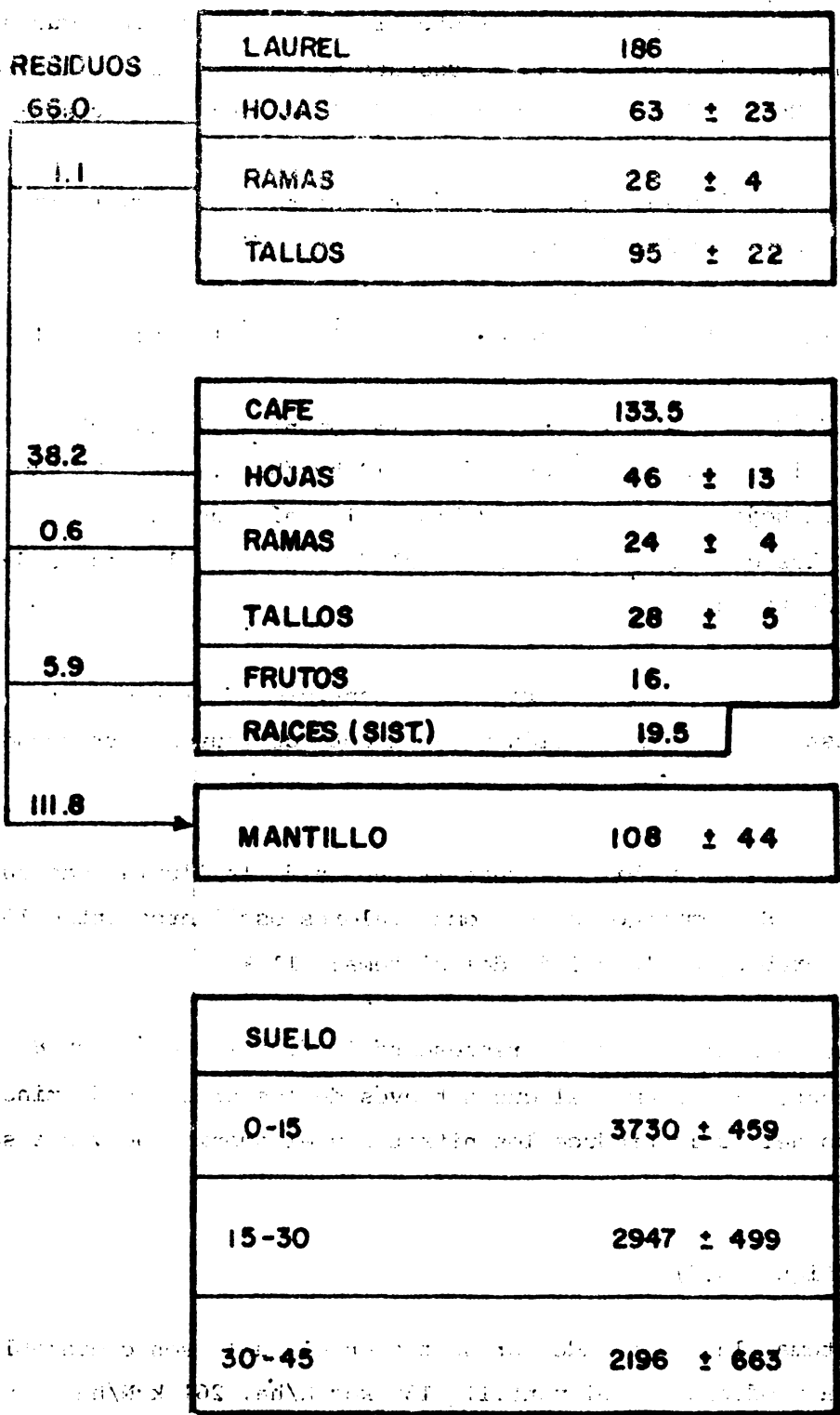


FIG. 4.5 MODELO DEL NITROGENO DEL SISTEMA AGROFORESTAL CAFE CON LAUREL . RESERVAS T/ha ; TRANSFERENCIAS T/ha/año

Lo interesante además, es ver que bajo este sistema el ciclo es más intenso: los residuos en forma natural por las hojas y ramas del poró y café, incorporan al sistema 169 kgsN/ha y año, cantidad elevada si se compara con 50 kgs/N/ha y año como ^{salida} salida del sistema.

La cantidad incorporada internamente está manteniendo el sistema. Además, a través de las podas, todo el contenido de nitrógeno pasa al suelo.

En las combinaciones agroforestales se corrobora que los órganos asimilantes son los que tienen los contenidos más altos de N, seguidos por las ramas y los tallos.

En el poró asociado con cacao se presenta menor contenido de nitrógeno en las hojas si se compara con el poró combinado con café. Esa diferencia podría ser estudiada más profundamente a partir de posibles efectos alelopáticos del cacao para el poró.

El cacao posee mayor contenido de nitrógeno en los frutos asociados con poró que en combinación con laurel. Quizá el mejoramiento del suelo a través de la fijación de N por poró sea la justificación del fenómeno.

El café bajo poró presenta mayor producción. Esa mayor producción puede justificarse en el manejo de la sombra del poró a través de dos podas anuales. Cuando la densidad del laurel fue bajada de 278 a 185 árboles/ha se notó un incremento en la producción de café en este sistema

El N extraído en ambos sistemas es alto si se compara con otros elementos como P, Ca y Mg. Para el K se obtienen valores considerables y muy similares al nitrógeno.

Comparando los sistemas, es el café + poró donde existe mayor extracción del nitrógeno y posiblemente por la mayor disponibilidad, ya que el poró fija el N atmosférico, o debido a que el laurel por poseer un sistema radicular más profundo que el poró, no extrae cantidades importantes del elemento que se concentra en mayores cantidades en los horizontes superficiales del suelo.

Cuadro 4.6 Contenido de Nitrógeno (en porcentaje) en diferentes órganos de los componentes bióticos.

SISTEMA	ORGANOS						
	Hojas		Ramas		Tallo		Frutos
Cacao+poró	2,08	3,10	1,04	1,19	0,50	0,54	semilla: 2.14 cáscaras 1.03
Cacao+laurel	1,88	2,79	0,81	0,91	0,37	0,40	semilla: 1.94 cáscaras:0,83
Café+poró	2,49	4,00	1,14	1,28	0,81	0,70	1,65
Café+laurel	2,45	2,79	1,11	0,91	0,76	0,40	1,50

Cuadro 4.7 Producción promedio anual (kg/ha y año) del café bajo dos sistemas agroforestales

SISTEMA	CAFE Kg/Ha		Contenido de Nitrógeno (%)
	Fresco en pulpa	Seco con pulpa	
Café+laurel	6843	2113	1,50
Café+poró	9523	2944	1,65

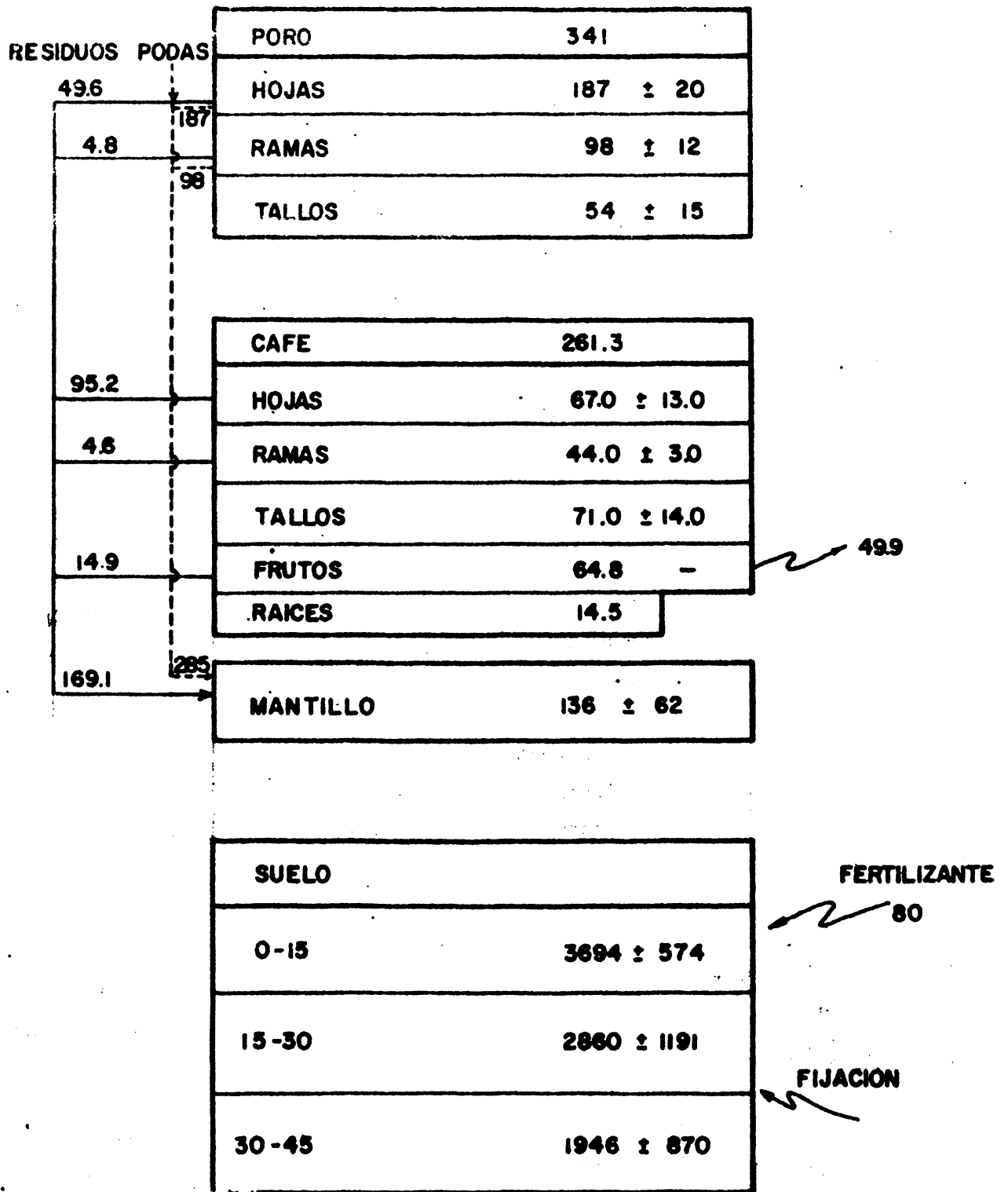


FIG. 4.6. MODELO DEL NITROGENO DEL SISTEMA AGROFORESTAL CAFE CON PORO. RESERVAS T/ha; TRANSFERENCIAS T/ha/año.

Cuadro 4.8 Producción promedio anual del cacao (kg/ha y año) bajo dos sistemas agroforestales.

SISTEMA	SEMILLA		CASCARA	
	Fresca	Seca	Fresca	Seca
Cacao+poró	1121	470	4273	634
Cacao+laurel	889	380	3432	526

Los mayores rendimientos del cacao corresponden al cacao combinado con poró. Parece justificarse en el manejo de la sombra y en el reciclaje de los elementos nutritivos que se incorporan en esta forma al sistema, principalmente el N fijado por el poró. No se descarta además la posibilidad que exista una respuesta mejor a la aplicación de fertilizantes.

El café combinado con poró posee la mayor producción de biomasa. Con laurel, pese a que produce menor cantidad parece que la calidad es mejor ya que posee mayor contenido de N. Quizá esta diferencia fuese compensada con el valor de la madera de laurel.

Aún no existe una explicación sobre el mecanismo dentro de los sistemas agroforestales sobre el suministro del N por los árboles al cultivo agrícola. Pudiera ser que el fenómeno ocurra a través de las podas, las cuales provocan la muerte de los nódulos que liberan el N para el uso del cultivo.

Otra posible incorporación es a través de las ramas podadas que se depositan en el suelo como fuente importante de nitratos solubles para la absorción posterior por el cultivo.

Lo que sí se ha convertido en una práctica muy usual es el uso de especies forestales fijadoras de N, como *Alnus forullensis*, *Leucaena* sp, *Casuarina* sp, *Gliricidia sepium*, etc.

LITERATURA CITADA

Además de la literatura del capítulo 3.

1. BOLETINES VERDES. 1-20, entre otros: tabaco, piña, banano, coco, palmera leguminosas, tubérculos, tropicales. Hannorer, Alemania 1960-1970. s.p.
2. BORNEMISZA, E. y ALVARADO, A. Soil management in tropical America. North Carolina University, 1975, 565 p.
3. CARAVAJAL, J.F. Cafeto cultivo y fertilización. San José. Instituto Internacional Potasa, Berna, Suiza. 1972.
4. COMMITTEE ON TROPICAL SOILS. Soils of the humid tropics. National Academy of Sciences Washington, D.C. 1972.
5. DIAZ-ROMEU, R. et al. Estudio de la materia orgánica y del nitrógeno en suelos de América Latina. Turrialba 20, 185-192, 1970.
6. GEUS, J.G. de. Fertilizer guide for the tropics and subtropics. Centre d'Etude de L'Azote. Bélgica, 1978, 773 p.
7. HAINES, S.G. y DEBELL, D.S. Use of Nitrogen-fixing plants to improve and maintain productivity of forest soils. In Impact of intensive harvesting Cycling. Syracuse, N. York-State University, 1979, 278-303.
8. JACOB, A. y v. CLEKKULL, H. Fertilización, nutrición y abonado de cultivos tropicales y subtropicales. Amsterdam, 1961, 459 p.
9. JENNY, H. Causes of the high nitrogen and organic matter content of certain tropical forest soils. Soil Science 69: 63-69. 1950.
10. JONES, M.J. y BROMFIELD, A.R. Nitrogen rainfall at Samaru, Nigeria. Nature. 227: 86. 1970.
11. NATIONAL CADEMY OF SCIENCES. Underexploited tropical plants with promising economic value. Washington, D.C. 1975, 188 p.
12. ROSSWALL, T. ed. Nitrogen cycling in westafrican Ecosystems. SCOPE/UNEP /MAB/IITA. 1980, 450 p.
13. ROBERSON, G.P.: HERRERA, R. y ROSSWALL, T. Nitrogen cycling in ecosystems of Latin America and the Caribbean. Dr. Junk Publishers, The Hague, 1982, 430 p.
14. STEVENSON, A. ed. Nitrogen in agricultural soils. ASA-Publication, Wisconsin USA. 1982.
15. THORNTON, I. Nutrient content of rain water in the Gambia. Nature. 205: 1 025. 1965.

QUINTO CAPITULO

EL CICLO DEL FOSFORO

5.1 El fósforo en el suelo

5.1.1 Contenido del P en el suelo

El fósforo es relativamente estable en los suelos. No presenta compuestos inorgánicos como los nitrogenados que pueden ser volatilizados y lixiviados. De esta alta estabilidad resulta una baja solubilidad que a veces causa deficiencias de disponibilidad de P para las plantas, a pesar de la continua mineralización de compuestos orgánicos del suelo. Esto puede evitarse en parte a través de una fertilización fosfatada; los fosfatos aplicados al suelo son sin embargo, objeto de reacciones rápidas de "fijación". Así la dinámica del fósforo en el suelo incluye una serie de reacciones y transformaciones.

Los contenidos de P en suelos de áreas tropicales son muy variables. En el Cuadro 5.1 se presentan datos promedio de diferentes autores sobre el P total y sus formas en algunos suelos de América Latina. Para el P total se ha informado sobre valores extremos de 18 mg P/kg de suelo en oxisoles y ultisoles de Venezuela y de 3300 mg P/kg de suelo para suelos derivados de cenizas volcánicas de América Central (Fassbender, 1975). Las grandes variaciones en el contenido de P total se deben a la variabilidad de las rocas parentales, al desarrollo de los suelos y a otras condiciones edafológicas y ecológicas particulares.

5.1.2 Formas de P en el suelo

El fósforo se encuentra originalmente en el material primario del suelo. La meteorización de la roca original produce la liberación del mismo, el cual pasa a la solución del suelo y da origen al ácido fosfórico (H_3PO_4 ; $H_2PO_4^-$; HPO_4^{2-} y PO_4^{3-}).

Estas formas dependen del pH del suelo; un pH entre 2 y 8 mantiene en el suelo la forma fosfatada $H_2PO_4^-$ la cual es absorbida por las plantas, para producir sustancias orgánicas fosfatadas generalmente de alto contenido energético (proteínas, ATP, enzimas, coenzimas, hormonas, etc.). Otras sustancias fosfatadas son el inositol y derivados como la fitina. El inositol es un alcohol derivado del fenol, molécula con 3 unidades de ácido fosfórico, con carácter fenólico y ácido al mismo tiempo. Produce las fitinas, las cuales representan el 50% de las sustancias orgánicas presentes en las plantas, tanto en la parte aérea como en las raíces.

A partir de la hojarasca se producen residuos vegetales que pasan al suelo los cuales contienen altos contenidos de fósforo orgánico, con las mismas características del fósforo de la planta.

El fósforo orgánico varía entre el 40-80% del fósforo total. En términos generales la mitad del fósforo en el suelo es de carácter orgánico. ~~Exs~~ Existe una relación entre el contenido de carbono con el contenido de fósforo en el suelo (Figura 5.1).

C/P = 200 (promedio)

C/P = 100 (favorable en fósforo)

C/P = 500 (suelo pobre en fósforo)

El ácido fosfórico en el suelo puede reaccionar y ligarse a iones Calcio, Aluminio o Hierro, formando fosfatos cristalizados, con características definidas.

Fosfatos de Calcio: Monofosfatos de Calcio, Difosfato de calcio, Trifosfato de calcio, Apatita hidroxilica, $Ca_5 (PO)_4 OH$,
Carboapatita $Ca_5 (PO_4)_3 CO_3$.

Fosfatos aluminicos: $AlPO_4$

Fosfatos férricos: $FePO_4$

Fosfatos ocluidos están asociados a concreciones de hierro.

La distribución de estas formas está relacionada con los procesos de evolución de formación del suelo y el pH del mismo.

En las rocas primarias solamente se encuentran fosfatos de Calcio. Durante los procesos de formación del suelo, las rocas primarias se van meteorizando y produciendo ácido fosfórico el cual es absorbido por las plantas, o pasa a ser parte de los fosfatos de hierro y aluminio, de manera que a través del tiempo se va produciendo un aumento de fosfatos de hierro y aluminio (hasta que se agota el fósforo disponible), va disminuyendo las cantidad de fosfatos de calcio y va aumentando la cantidad de fosfatos ocluidos (Figura 5.2).

CUADRO No.5.1 Contenido y formas de P en suelos de América Latina, (Fassbender, 1975)

Autor	País, región	No. de muestras	Total	Al-P	Fe-P	Ca-P	Ocluido Orgánico		% P Orgánico
							mg P/Kg suelo		
Carraja ⁴⁴	Méjico	7	-	11	18	175	-	-	-
Dahnke, Malcolm y Menendez ²⁵	El Salvador	17	601	25	47	75	61	73	12
Chaverri ²²	Costa Rica	16	1444	218	176	51	147	-	-
Fassbender, et al ³⁰	América Central (Ca-P pred.)	80	889	58	40	161	251	370	41
		(Al, Fe-P pred.)	30	1241	104	120	50	214	752
Fassbender ³²	América Central (caa. volc.)	34	1142	92	55	124	274	496	43
Tafur y Blasco ⁶⁹	Colombia, Valledupur	11	415	27	49	67	151	114	27
Bastidas y col. ⁸	Colombia, Putumayo	45	1270	226	189	40	431	379	30
Blasco ¹⁴	Colombia, Nariño, Altiplano Medio	1442	155	177	138	858	123	8	
		534	57	48	53	301	74		
Blasco y Bohorquez ¹³	Colombia, Cauca	11	591	32	54	36	344	120	20
Westin y Brito ⁷⁷	Venezuela	23	204	21	28	18	-	80	39
Fassbender y Díaz ³⁹	Brasil, Maranhao	8	600	17	21	15	107	437	73
Cabala y Fassbender ¹⁹	Brasil, Bahía	8	713	11	42	31	200	432	61
Vieira y Bornemiza ⁷⁶	Brasil, Amazonas, Latosol No Latosol	7	369	52	37	10	-	147	40
		5	556	28	88	12	-	216	39
Coulot y Bolaños ²⁴	Argentina, Buenos Aires	3	646	19	19	49	3	305	47
Ahmad y Jones ²	Barbados	6	1725	185	128	413	322	-	-

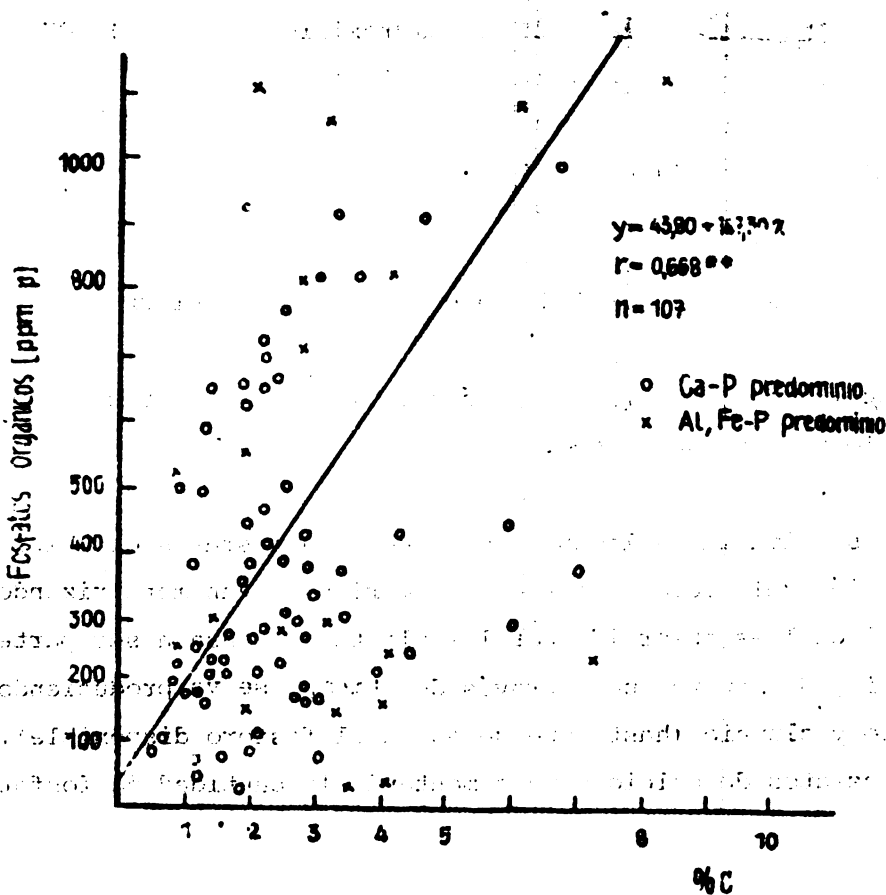


Fig.5.1 Relación entre los contenidos de materia orgánica y de fosfatos orgánicos en suelos de América Central. (Según Fassbender, Müller y Balardi, 1975) (ver también Fassbender, 1975).

Resumiendo se puede observar que a medida que un suelo envejece, y disminuye el pH, el fosfato de calcio disminuye y aumenta los fosfatos de hierro y aluminio y más tardíamente predominan los fosfatos ocluidos (g (Figura 5.3., 5.4).

Suelo joven: predomina Ca-P

Suelo intermedio: Ca-P, predominan Fe-P y Al-P

Suelos viejos: ocluidos -P

En el encladado produce elevación del pH y acelera la mineralización del P-orgánico, pero excesos de encladado resulta contraproducente porque tiende a inmovilizar otras bases (K, Mg). En función de esto, es necesario caracterizar la dinámica del suelo reconociendo la distribución de las diferentes formas de fósforo en el suelo con metodología apropiada.

5.2 Ciclo del Fósforo en ecosistemas forestales

Debido a la alta estabilidad de P en la naturaleza se encuentran cantidades pequeñas en los ecosistemas (suelo + vegetación + animales). Los datos en la literatura son además muy escasos. En la Figura 4.4 se presenta la distribución porcentual de P en la vegetación, suelo y mantillo de algunos ecosistemas, Las cantidades totales registradas fueron (Kg P/ha).

Kade, Ghana	80
Manaos, Brasil	168
Santa Fe, Panamá	176
Carace, Colombia	269
Mérida, Venezuela	1040

La estabilidad del ecosistema depende de la reserva presente en el suelo. Mientras en Mérida el 90% del P se encuentra en el suelo, en Kade, Manaos y Nueva Guinea el caso inmenso, 90% del P total se encuentra en la vegetación. La remoción de la misma implica una pérdida irreparable y una catastrofe para el ecosistema.

Los procesos de transferencia en el ecosistema de San Eusebio en Mérida, Venezuela (Fig. 4.4) demuestran la estabilidad de P en el suelo y la pequeña i movilidad del mismo.

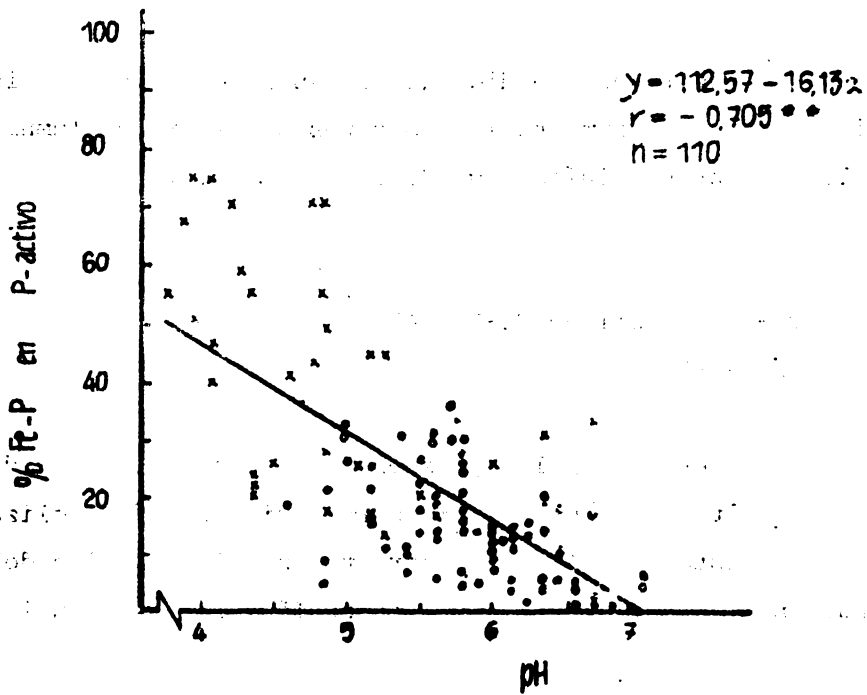


Fig.5.2 Correlación entre el pH y los fosfatos férricos. (Según Fassbender Müller y Balardi³⁰).

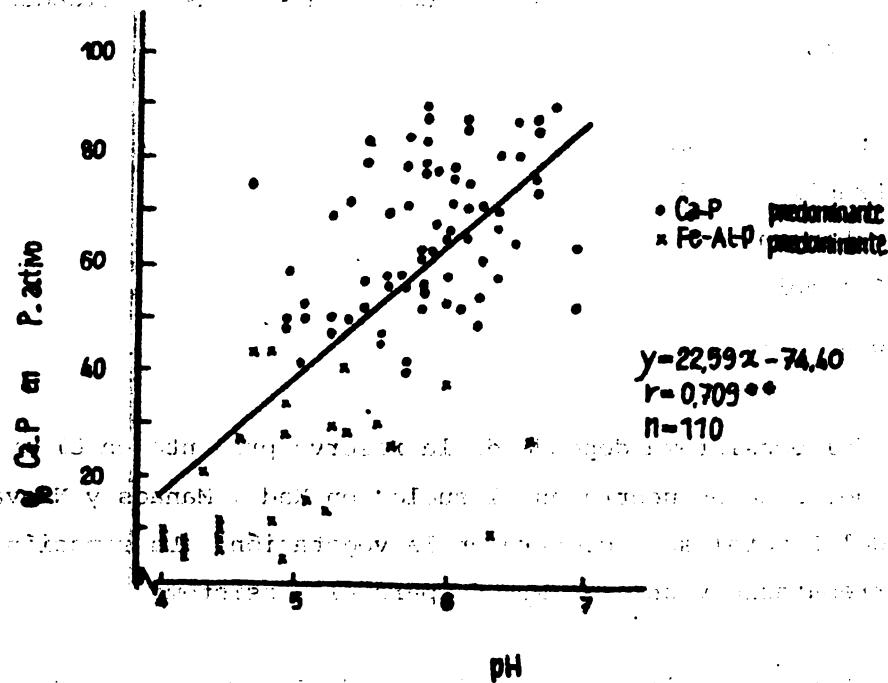


Fig.5.3 Correlación entre el pH y los fosfatos cálcicos. (Según Fassbender, Müller y Balardi³⁰).

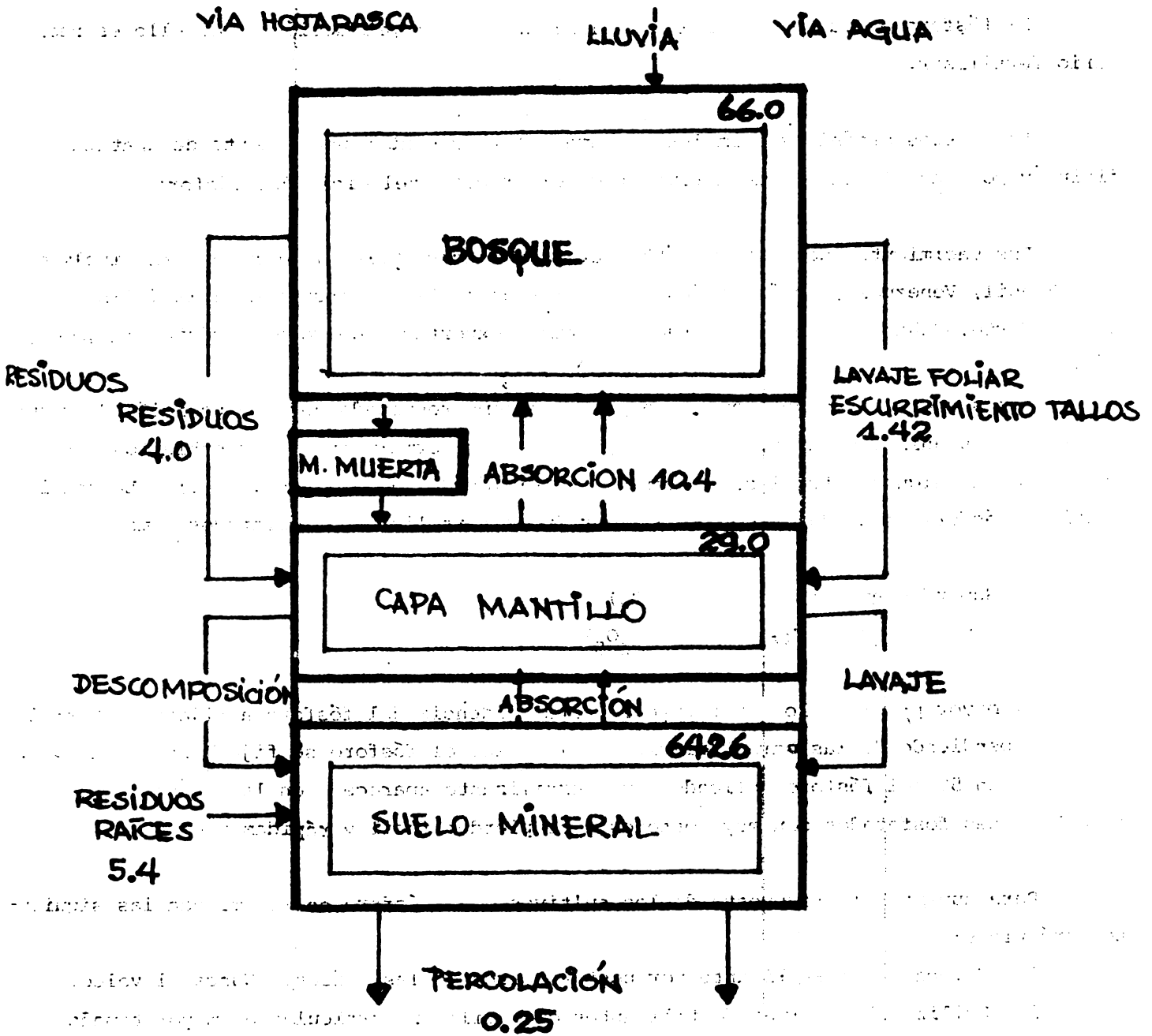


Figura 5.4 Ciclo del fósforo en el ecosistema forestal montano de los Andes de Venezuela (Fassbender, y Grimm, 1981).

5.3 El fósforo en sistemas de producción

5.3.1 Fertilización y fijación de P en suelos agrícolas

El fósforo es muchas veces factor limitante de la producción. Por ello es necesario fertilizar.

Los restos orgánicos animales y (humanos) representan una fuente de apatita, fitina y por ende fosfatos que activan todo el proceso del ciclo del fósforo.

Los yacimientos de apatita están muy localizados sobre el planeta, principalmente en: Brasil, Venezuela, Perú, Península de Florida (USA), Península de cola (URSS), Africa Norte, Sahara Española, Marruecos (primer exportador de roca fosfatada), Algeria Libia.

Estos yacimientos de apatita se producen como resultado de la deposición de restos de organismos animales en forma a masiva, los cuales normalmente son recubiertos con sedimentos de alguna naturaleza (aluvión, deposición de suelo, arena, etc.). La apatita contiene fósforo en un 35% y con esta se producen fertilizantes fosfatados como

Superfosfato simple (20% P_2O_5)

Superfosfato triple (46-48% P_2O_5)

El mayor problema lo constituye la alta tendencia del fósforo a fijarse. Normalmente, dependiendo de las características del suelo, el fósforo se fija hasta en un 95%. Solamente un 5% del fósforo aplicado como fertilizante aparece en las plantas. Los fertilizantes fosfatados son muy costosos y se pierden fácil y rápidamente.

Para aumentar la respuesta de los cultivos al fósforo se recomienda las siguientes prácticas:

1. Colocar el fertilizante por postura cerca de las raíces. Nunca al voleo.
2. Utilizar las formas fertilizantes que utilicen partículas de mayor tamaño (pelets o gránulos)
3. Controlar la velocidad de disolución por medio del encalado o prácticas de enmienda.

El fósforo, la roca fosfórica u otras fuentes están localizadas tan específicamente que la aplicación de fertilizantes fosfatados generalmente representa una importación necesaria para cualquier país que no cuenta con fuentes naturales.

Las reservas de P a nivel mundial son escasas y con la tasa actual de utilización que alcanza los 60 millones de toneladas/año, se estima que en 100 años el fósforo se habrá agotado como fuente directa, sino se encuentran otros yacimientos o desarrollan nuevas tecnologías de reutilización.

Se ha encontrado que en una capa marina que va desde la superficie hasta 300-600 m concentración de fosfatos solubles es relativamente alta. Se está investigando la forma de recuperar y utilizar esta fuente potencial de fosfatos. Otra alternativa es el reciclamiento de desechos orgánicos humanos (excreta), ricos en fósforo. El tratamiento de las aguas negras (detergentes, excreta, etc...) ricas en fósforo, con hidróxidos de calcio puede resultar en fertilizantes fosfatados.

5.3.2 El P en sistemas forestales

La información pertinente es tan escasa que prácticamente se puede decir que no se sabe nada al respecto.

La acumulación total de P en una plantación de *Pinus caribaea* de 10 años de edad en Nigeria alcanzó solo 26.7 kg/ha, correspondiente a hojas, tallos, raíces al 23, 29 y 25 por ciento respectivamente (Egunjos, Bada, 1979, ver Cuadro 5.5).

La remoción total de una rotación de *Pinus patula* de 30 años de edad en Tanzania alcanzó 126 kg P/ha, correspondiente de *Cupressus lusitanica* solamente 95 kgP/ha (Lundgren 1978, Cuadro 5.4).

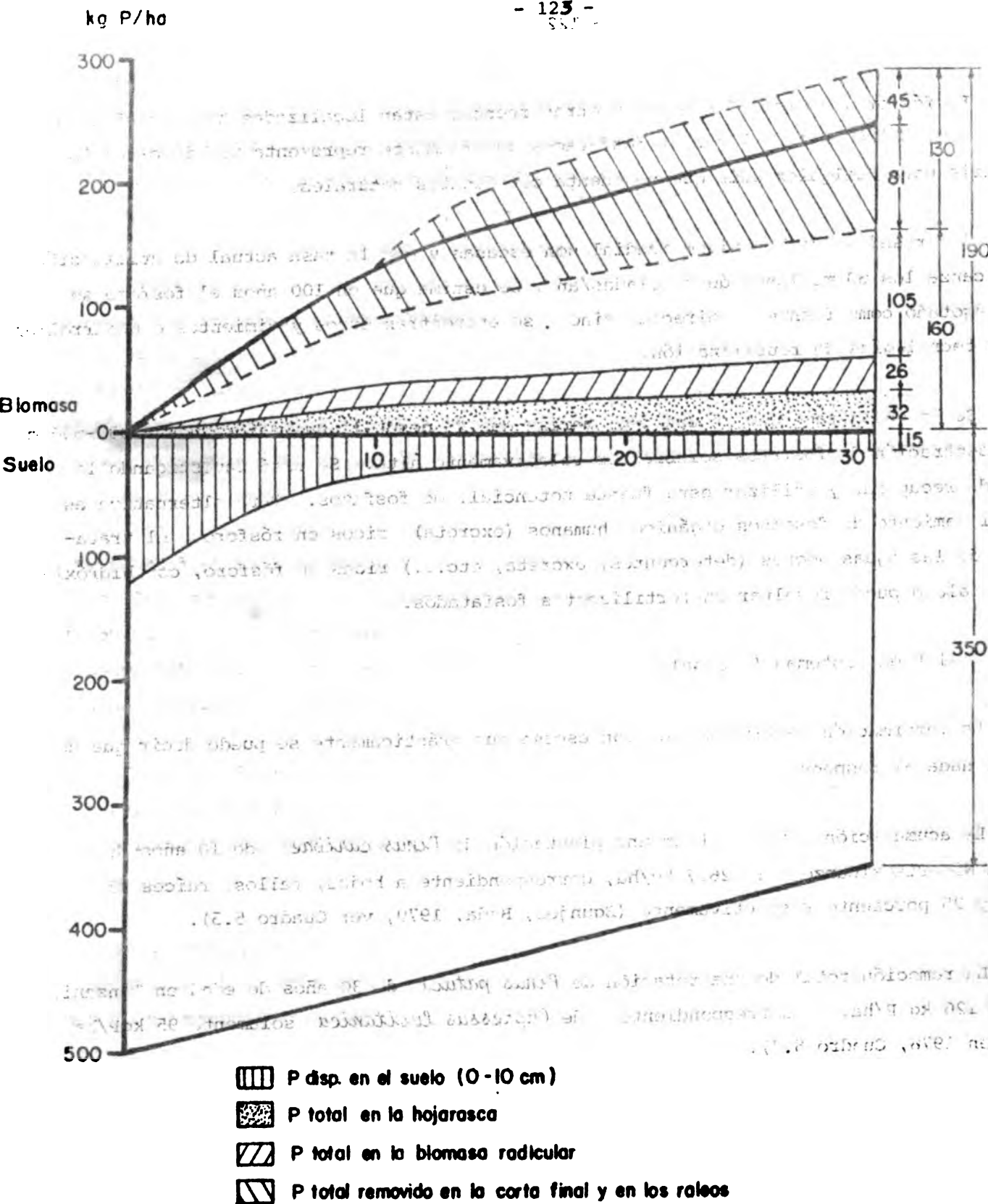


Fig. Cambios en la distribución del fósforo en la biomasa, hojarasca y suelo superior (0-10cm) durante una rotación de Pinus patula en Tanzania (según Lundgren, 1978)

5.3.3 El P en sistemas de producción agroforestales

El ciclo del fósforo en los sistemas agroforestales puede ilustrarse con los estudios realizados en el Experimento Central de "La Montaña", del CATIE, en las parcelas correspondientes a los sistemas café con poró y laurel ya a los de cacao con poró y laurel, como árboles de sombra (figuras 5.5 y 5.6).

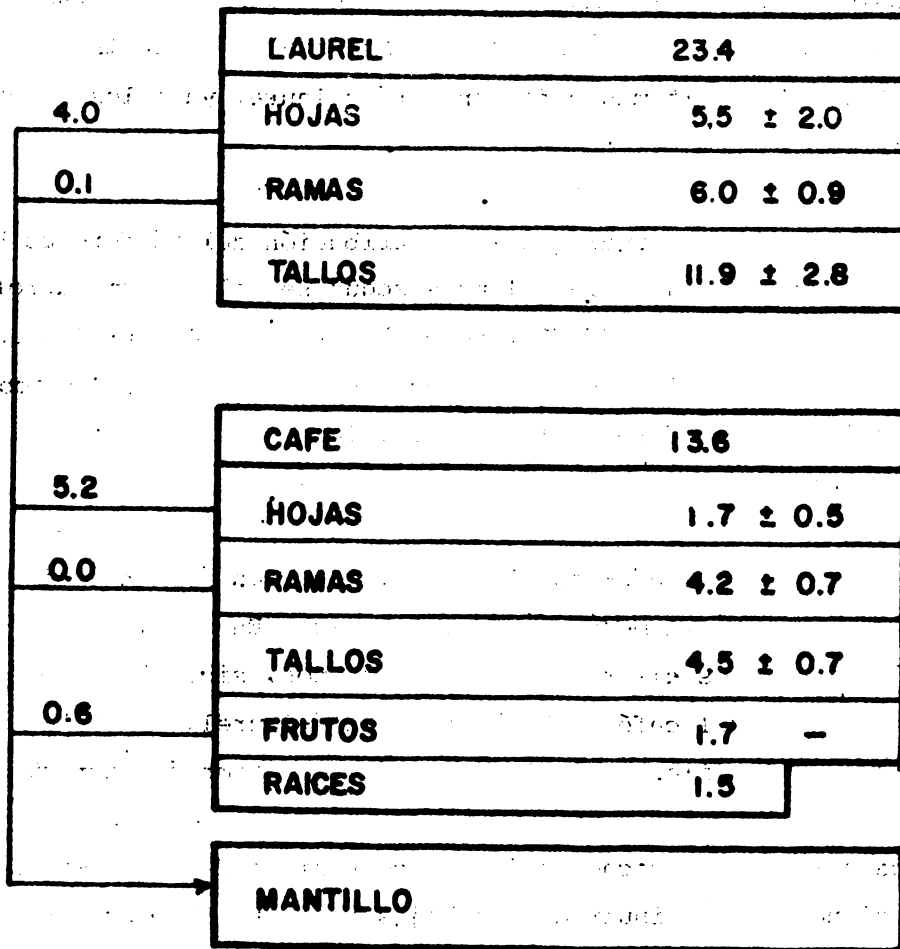
En el cuadro 5.2 se puede observar que la distribución del fósforo es bastante específica en los diferentes órganos de las plantas según sea el sistema agroforestal. En los sistemas con café, el contenido de fósforo es mayor para el laurel que para el poró, aunque la tendencia de contenido en hojas, ramas y tallos es igual; ambos árboles tienen la mayor cantidad de fósforo en las hojas y la menor en los tallos, siendo la diferencia bastante amplia.

Para el café, en el sistema café-laurel, la mayor concentración de fósforo es en las ramas (0.19), mientras que la menor es en las hojas. En el sistema café-poró, la distribución del fósforo en los diferentes compartimentos, sigue la misma tendencia que se presentó en los órganos del café en el sistema café-laurel, con la diferencia de que los contenidos son muy similares (0.11, 0.12, 0.10) y también bastante reducidos.

En el sistema cacao-laurel y cacao-poró, los contenidos de fósforo, en el laurel y en el poró, también tienden a disminuir de las hojas a los tallos como en los sistemas con café. Tanto el poró como el laurel, en estos sistemas, tienen igual contenido en las hojas (0.24%).

En el cacao bajo laurel, los contenidos de fósforo son muy similares en los diferentes compartimentos (0.12, 0.13, 0.13). Bajo la sombra de poró, la situación es muy similar (0.12, 0.13, 0.10) presentándose el mayor acúmulo en las ramas y el menor en los tallos. Nótese además, que las magnitudes de los contenidos son bastante similares.

De los resultados del Cuadro 5.3 se puede observar que en el sistema café con laurel, el café ha acumulado menos fósforo en su biomasa que en el sistema con poró. La combinación café-poró resultó más extractora de fósforo (16.1 kg/ha para el café y 29.6 kg/ha para el poró y 10.3 kg/ha para el café y 23.4 kg/ha para el laurel en el sistema café-laurel).



	SUELO	3389
0-15	mg / kg	696
	kg / ha	1128
15-30	mg / kg	850
	kg / ha	1249
30-45	mg / kg	647
	kg / ha	1012

1.1

115
(76)

FIG. MODELO DEL FOSFORO DEL SISTEMA AGROFORESTAL CAFE CON LAUREL. RESERVAS T/ha ; TRANSFERENCIAS T/ha/año

En los sistemas cacao con laurel y cacao con poró, el laurel resulta ser más extractor (28.9 kg/ha), aunque la diferencia no es tan grande como en los sistemas con café. El sistema cacao-laurel resultó ser más extractor que el sistema cacao-poró.

En cuanto al fósforo en la cosecha, de los resultados que aparecen en el Cuadro 5.4 se tiene que mayor cantidad de fósforo es acumulado en los frutos del café en el sistema café-poró que en el sistema café-laurel, debido a la mayor producción de cosecha.

Es también el sistema que tiene mayor salida de fósforo en la cosecha de los cuatro en estudio. Las semillas de cacao tienen acúmulo de fósforo similar en los dos sistemas, aunque la salida de fósforo en la mazorca completa es mayor para el laurel cacao.

Por los procesos de transformación de la materia orgánica, en estos sistemas, es poco el fósforo que se moviliza por lo que la fertilización fosfórica que se aplica (115 kg P/ha y año) aunque elevada, resulta necesaria.

El suelo de los sistemas presenta una reserva muy elevada de 2800 kg de fósforo en forma total, pero la mayoría de él se encuentra en formas de fosfatos férricos y aluminicos que son poco disponibles para las plantas. Además por ser un suelo volcánico, los problemas de fijación son muy grandes, lo cual justifica las cantidades de fósforo aplicadas como fertilizante ya que sin ellas, el sistema no funcionaría.

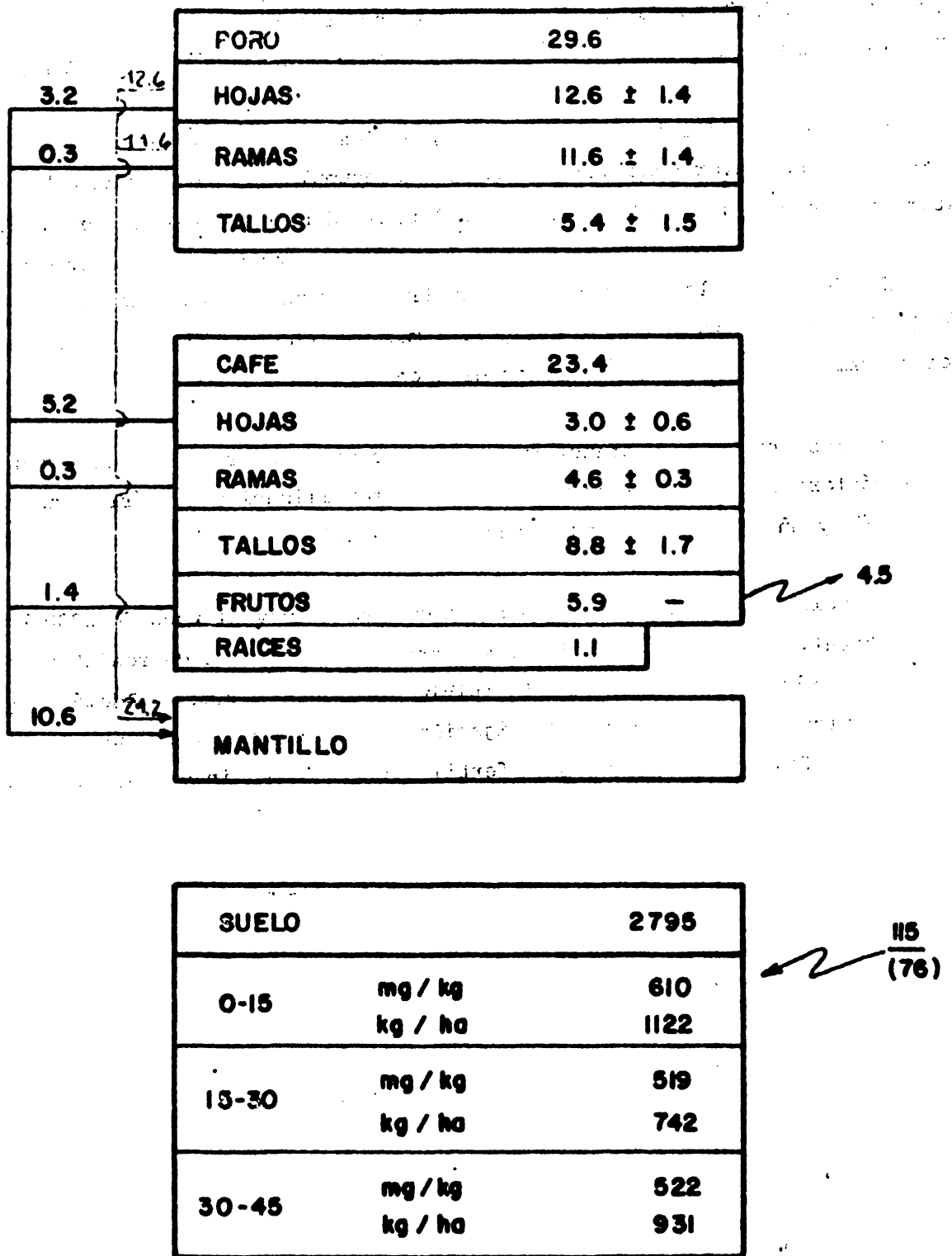


FIG. MODELO DEL FOSFORO DEL SISTEMA AGROFORESTAL CAFE CON PORO. RESERVAS T/ha ; TRANSFERENCIAS T/ha/año

Cuadro 5.2 Contenido de fósforo (%) en los diferentes órganos de los componentes de cuatro sistemas agroforestales

Sistema	CAFE + LAUREL		CAFE + PORO	
H O J A S	Café (%)	Laurel (%)	Café (%)	Poró (%)
	0.09	0.24	0.11	0.27
R A M A S	0.19	0.19	0.12	0.15
T A L L O S	0.12	0.05	0.10	0.07
SISTEMA	CACAO + LAUREL		CACAO + PORO	
H O J A S	Cacao	Laurel	Cacao	Poró
	0.12	0.24	0.12	0.24
R A M A S	0.13	0.19	0.13	0.14
T A L L O S	0.13	0.05	0.10	0.06

Cuadro 5.3 Contenido promedio de fósforo (kg/ha) en la biomasa seca de los diferentes órganos de los componentes de cuatro sistemas agroforestales

SISTEMA	CAFE + LAUREL	CAFE + PORO		
	Café (kg/ha)	Laurel (kg/ha)	Café (kg/ha)	Poró (kg/ha)
HOJAS	4.5 ± 0.7	11.9 ± 2.7	8.7 ± 1.7	5.4 ± 1.5
RAMAS	4.1 ± 0.7	6.0 ± 0.9	4.5 ± 0.2	11.65 ± 1.4
TALLOS	1.7 ± 0.4	5.4 ± 1.9	2.9 ± 0.5	12.6 ± 1.3
SISTEMA	CACAO + LAUREL	CACAO + PORO		
	Cacao (kg/ha)	Laurel (kg/ha)	Cacao (kg/ha)	Poró (kg/ha)
HOJAS	3.6 ± 0.9	11.8 ± 2.3	2.5 ± 0.5	5.5 ± 2.3
RAMAS	5.2 ± 1.4	9.0 ± 1.4	3.9 ± 0.5	13.0 ± 3.7
TALLOS	3.5 ± 1	8.1 ± 2.9	3.4 ± 0.2	7.8 ± 1.1

Cuadro 5.4 Contenido promedio de fósforo (kg/ha) en la cosecha de café y cacao (en base seca) en cuatro sistemas agroforestales.

SISTEMA	CAFE + LAUREL	CAFE + PORO		
	1979-1983	1982	1979-1983	1982
Frutos (kg/ha)	12.7 ± 1.2	1.1 ± 0.14	17.7 ± 1.9	4.5 ± 1.2
SISTEMA	CACAO + LAUREL	CACAO + PORO		
	1979-1983	1982	1979-1983	1982
Semilla (kg/ha)	7 ± 1.8	3.2 ± 1.1	7.9 ± 0.9	3.2 ± 10.5
Cáscara (kg/ha)	2.74 ± 0.66	1.2 ± 0.35	3.3 ± 0.36	1.6 ± 0.27
TOTAL	1.74	4.4	11.2	1.8

LITERATURA CITADA

Además de la literatura del capítulo 3.

1. BOLETINES VERDES. 1-20, entre otros: tabaco, piña, banano, coco, palmera, leguminosas, tubérculos, tropicales. Hannorer, Alemania 1960-1970.
2. BORNEMISZA, E. y ALVARADO, A. Soil management in tropical America. North Carolina University, 1975. 565 p.
3. COMMITTEE ON TROPICAL SOILS. Soils of the humid tropics. National Academy of Science Washington, D.C. 1972.
4. FASSBENDER, H.W., MULLER, L. y BALERDI, F. Estudio del fósforo en suelos de América Central II. Formas y su relación con las plantas. Turrialba (Costa Rica) 18(4): 333-347. 1968.
5. _____. Deficiencia y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas en América Central. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, 1969. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. pp. B. 4.1-B. 4.10.
6. _____. Estudio del fósforo en suelos de América Central. IV. Cpa Capacidad de fijación de fósforo y su relación con características edáficas. Turrialba (Costa Rica) 19(4): 497-505. 1969.
7. _____. Phosphorus fixation in tropical soils. Agri Digest (Bélgica) 18: 20-28, 1969.
8. _____ y DIAZ, N. Contenido y formas de fósforo de algunos suelos de la región amazónica del Estado de Maranhao, Brasil. Turrialba (Costa Rica) 20(3): 372-374. 1970.
9. GEUS, J.G. de. Fertilizer guide for the tropics and subtropics. Centre d'Etude de L'Azote. Zurich, 1978, 773 p.
10. JACOB, A. y v. CLEKULL, H. Fertilización, nutrición y abonado de cultivos tropicales y subtropicales. Amsterdam, 1961, 459 p.

SEXTO CAPITULO

CICLO DEL POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO

6.1 El potasio, calcio y magnesio en el suelo

6.1.1 Contenido, formas

Tanto el potasio como el calcio y el magnesio son absorbidos por las plantas en sus formas iónicas a partir de la solución del suelo. El potasio es un elemento alcalino y monovalente, K^+ ; el calcio y el magnesio son alcalinotérreos y divalentes: Ca^{++} , Mg^{++} . Este grupo de iones de la solución del suelo puede ampliarse con un elemento no nutritivo, el sodio Na^+ . Ni las plantas ni los animales requieren sodio. Sin embargo, se ha creado la costumbre de consumirlo como sal ($NaCl$) por el hombre y algunos animales domésticos y existen plantas, llamadas natrofilicas, capaces de tolerar concentraciones de cloruro de sodio del 3 y 4% en la solución del suelo. Ejemplo de ello lo son la palma datilera y el cocotero. La remolacha, por otra parte, muestra una respuesta favorable al sodio, sin que por ello le sea esencial.

Las plantas absorben los elementos de la solución del suelo mediante:

- a) La absorción pasiva, en la cual, los elementos ingresan a las raíces disueltos en el agua que consume la planta para compensar la pérdida de la misma por transpiración.
- b) La absorción activa en la que selectivamente, los nutrimentos son tomados de la solución del suelo por los "carrier" y llevados al interior de la raíz con inversión de energía en la captura y transporte.

El potasio, sodio, calcio y magnesio regulan el intercambio hídrico, de las células, estos cationes se encuentran dentro de la vacuola celular. Puesto que el sodio y el potasio son hidrofílicos, en tanto, el calcio y el magnesio son hidrofóbicos, la concentración relativa de estos elementos determina la turgencia (presión contra las paredes celulares) y la presión osmótica. Cuando las dos presiones se igualan la célula no gana ni pierde agua. Esta participación del potasio en el sistema regulador del balance hídrico explica la apariencia de "dormida" de la planta cuando experimenta una deficiencia de este elemento.

Al iniciarse la genesis del suelo estos nutrimentos provienen exclusivamente de la roca madre de la que se liberan por meteorización, la reserva total de estos elementos se encuentran así en las rocas.

Las rocas se dividen en tres grupos: magmáticas, sedimentarias y metamórficas. Estas rocas difieren en sus contenidos de silicatos, aluminosilicatos, sulfatos, fosfatos, cloruros, etc., cuya solubilidad o inestabilidad es creciente en el orden en que se han nombrado.

Las rocas magmáticas pueden clasificarse de acuerdo a su contenido de sílice como rocas ácidas (SiO_2 66%), subácidas (SiO_2 entre 66 y 62%), subbásicas (SiO_2 entre 62 y 52%) y básicas (SiO_2 entre 52 y 45%).

El óxido de sílice o cuarzo es un cristal muy estable por ser tridimensional en función de enlaces entre Si y O. Por ello resulta inerte en cuanto a elementos nutritivos se refiere. Las playas de arena blanca son grandes acumulaciones de cuarzo. La arena negra debe su color al óxido de titanio que contiene. El granito es una roca ácida típica en con un contenido adecuado de potasio pero bajo de calcio y magnesio. La ortoclasa y la muscovita contienen mucho potasio. Las rocas alcalinas como el basalto y la dolerita provienen de erupciones volcánicas relativamente recientes. Se caracterizan por su contenido de plagioclasa y olivino, minerales con cantidades adecuadas de calcio y magnesio. Contienen además anfíbol y piroxeno. Todo ello contribuye a que el suelo que se desarrolla a partir de estas rocas posea buena fertilidad.

Los silicatos (SiO_4) pueden estar arreglados en forma simple como en el olivino o formar anillos, cadenas dobles y láminas como en la muscovita. Los aluminosilicatos se originan por la sustitución isomórfica del silicio por el aluminio. Ambos elementos poseen átomos de radio similar por lo que se dan "anomalías" de fórmula general (AlSiO_4). Como el sílice sustituido es tetravalente en tanto el aluminio sustituyente es trivalente, los aluminosilicatos poseen carga negativa. A este grupo de minerales pertenecen entre otros la biotita, amfibola, piroxeno; así resultan minerales de meteorización liberando K, Ca y Mg.

Las rocas sedimentarias son producto de la meteorización de las rocas magmáticas y ulterior transporte a otro lugar. Existen otros sedimentos como los químicos y biológicos.

Los sedimentos químicos presentan condiciones que favorecen la formación de sales. Así pues, se forma la roca de yeso (sulfato de calcio) y la roca talisa (carbonato de calcio). Los sedimentos biológicos son formados por acumulación de restos orgánicos como las conchas marinas que originan calizas. El contenido de K, Ca y Mg depende de la roca primaria y el proceso de sedimentación.

Las rocas metamórficas se forman a temperaturas mayores que los 500 °C y bajo presiones altas a partir de rocas magmáticas o sedimentarias. Estas condiciones transforman el arreglo original de los minerales de las rocas originarias. Ejemplo de ellas son pizarras, cuarcitas, mármol. La transformación debida a alta temperatura implica la pérdida de todo el material orgánico presente y, con ello, la organización de un nuevo arreglo. Todo lo anterior evidencia la importancia de consultar los mapas geológicos cuando se desea explicar las diferencias existentes entre los suelos del presente.

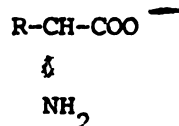
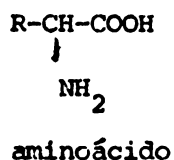
Los suelos derivados de cenizas volcánicas deben considerarse en forma especial. Las cenizas se forman en erupciones explosivas de volcanes activos, volcanes que han hecho erupción durante los últimos 4000 a 5000 años, esto es, la historia conocida. Existe una gran cantidad de volcanes activos. El anillo circunpacifico mencionado comprende los volcanes de los Andes desde Chile a Colombia (excluye a Venezuela y Panamá) también los volcanes de América Central, México, Alaska, Japón, Indonesia y Nueva Zelanda.

Las erupciones provocan la distribución cerca de los cráteres de nuevas rocas magmáticas. Algunas veces, el material volcánico explota y es distribuido como ceniza por el viento en zonas de influencia que se localizan hasta a cientos de kilómetros del cráter. La ceniza posee un alto contenido de silicatos en forma de vidrios ricos en potasio, calcio y magnesio que pasan a la solución del suelo.

6.1.2 Los procesos de intercambio catiónico

Las arcillas, la materia orgánica y los óxidos presentan cargas negativas que son compensadas por la adsorción superficial de elementos electropositivos. Las cargas negativas de las arcillas provienen de la sustitución isomórfica de sílice por el aluminio ya mencionada.

Las sustancias húmicas son un complejo de aminoácidos que al perder hidrógeno se cargan negativamente.



La cantidad de intercambio catiónico de las arcillas es variable (Cuadro 6.1).

La caolinita tan solo tiene una capacidad de cambio de 3 a 5 meq por 100 g de suelo, en tanto la vermiculita es capaz de cambiar 100 a 150 meq/100 g. La materia orgánica posee la capacidad de intercambio catiónico más alta (100-250 meq/100 g). Los óxidos de hierro y manganeso también forman cargas negativas de CIC débil. Ambos óxidos debido a sus múltiples valencias pueden cargarse además positivamente o incluso no tener carga (punto isoeléctrico) como se muestra en la figura 6.1. Este último estado produce la percolación de las arcillas con la ulterior formación de horizontes argílicos y la distribución de la materia orgánica a través del perfil como sucede en los espodosoles. Finalmente, la alofana, un mineral amorfo derivado de las cenizas volcánicas, posee una CIC de alrededor de 100 meq/100 g.

La determinación de la capacidad de intercambio catiónico se lleva a cabo mediante el reemplazo de los cationes de la muestra de suelo con cloruro de amonio, cloruro de bario o acetato de amonio. El complejo de cambio toma el amonio o el bario de carga positiva y libera en el líquido lixiviado los cationes. El espectrofotómetro de absorción atómica mide su concentración.

El pH juega un papel muy importante en los procesos de intercambio catiónico. Inicialmente los cationes liberados mantienen un pH neutral o ligeramente ácido. Progresivamente la planta extrae nutrimentos y el suelo se acidula; porque los sitios de adsorción que desocupan en las arcillas son llenados por iones hidronio. Estos iones provienen de las excreciones radiculares de la planta y de la reacción del dióxido de carbono liberado por la respiración radicular con el agua. Además la lluvia produce agua de percolación que arrastra cationes proque su pobreza en electrolitos inclina el equilibrio hacia la liberación catiónica. La figura 6.2 muestra que los suelos con mayor contenido de bases cambiables poseen valores de pH neutros. El cambio progresivo de estas bases por aluminio disminuye el pH. Así, un 20% de saturación de bases asociado a un pH de 4 indica que el complejo de intercambio está ocupado en un 80% por hidrógeno y aluminio, esto es, la llamada acidez cambiabile.

CUADRO 6.1 Capacidad de intercambio de algunos minerales arcillosos, óxidos amorfos y materia orgánica. (Fassbender 1975)

Mineral	Capacidad de cambio (meq/100 g)
Caolinita	3-15
Halorsita	5-10
Montmorillonita	80-120
Vermiculita	100-150
Glauconita	5-40
Illita	20-50
Clorita	10-40
Alófana	< 100
Opalo	11-34
Oxido Fe amorfo	10-25
Materia orgánica	100-250

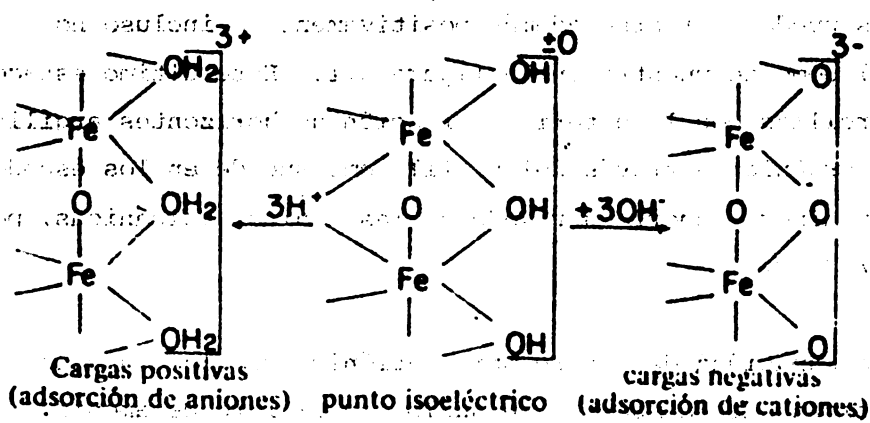


Figura 6.1 Capacidad de intercambio variable.

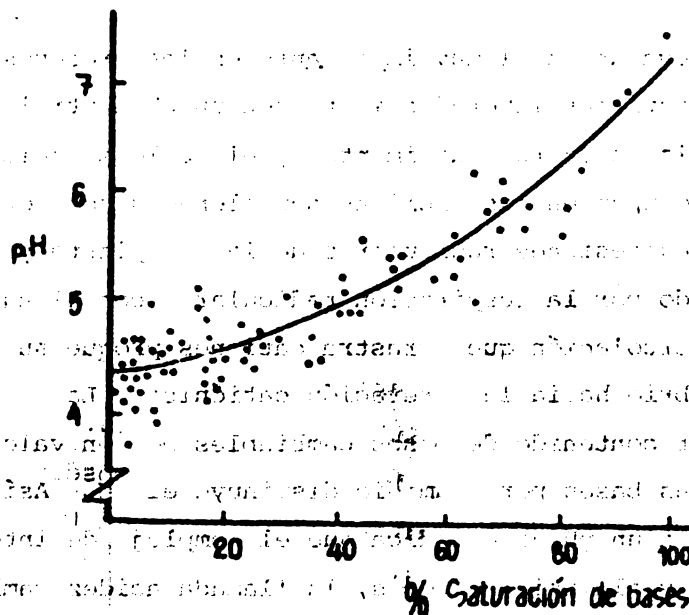
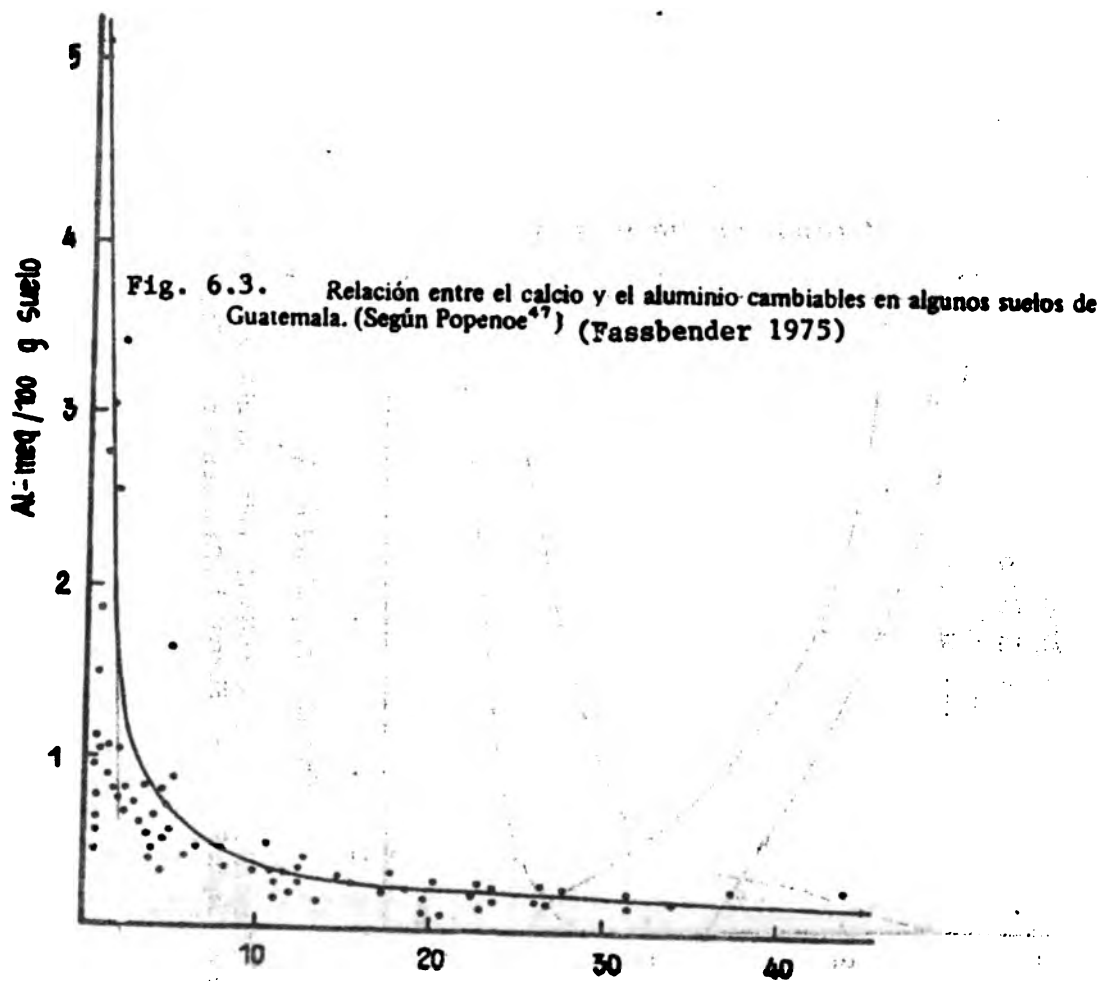


Figura 6.2 Relación entre el pH y el porcentaje de saturación de bases en algunos suelos de San Pablo, Brasil (Según Basso y Almeida, 1972)

CUADRO 6.3. Variaciones del pH y bases cambiables por la tumba y reñema de los bosques y la explotación agrícola de los suelos. (Según Nye y Greenland⁴⁹)

Epoca de muestreo	Antes del corte	Después de la quema	Un año después de la quema	Dos años después de la quema	Antes del corte	Después de la quema	Un año después de la quema	Dos años después de la quema		
Tratamientos	Bosque natural	pH (1:5)				Bosque natural	Ca (meq/100 g)			
Profundidad										
Preparación superficial del suelo, campo limpio	0 - 5 5 - 15	5,2	7,6 5,7	6,6 5,2	6,5 5,2	4,3	11,2 4,5	8,2 3,0	7,0 3,0	
Preparación superficial del suelo, rotación maíz-mandioca	0 - 5 5 - 15	5,2	8,0 7,4	6,8 5,5	6,6 5,5	4,0	12,7 5,0	7,2 3,0	6,8 3,0	
Prácticas locales de cultivo	0 - 5 5 - 15	5,2 4,9	8,1 6,2	7,5 5,4	7,0 6,0	7,2 2,0	21,2 5,0	20,5 3,2	14,5 5,2	

Tratamientos	K (meq/100 g)				Mg (meq/100 g)				
Preparación superficial del suelo, campo limpio	0 - 5 5 - 15	0,4	1,2 0,6	0,6 0,4	0,3 0,3	2,2	2,8 1,5	2,3 1,1	1,4 0,9
Preparación superficial del suelo, rotación maíz-mandioca	0 - 5 5 - 15	0,4	1,5 0,8	0,4 0,4	0,2 0,2	4,9	2,9 1,5	1,7 1,2	1,3 1,0
Prácticas locales de cultivo	0 - 5 5 - 15	0,5 0,3	2,5 0,9	0,6 0,4	0,3 0,2	2,6 1,2	3,9 1,6	2,4 1,2	2,0 1,1



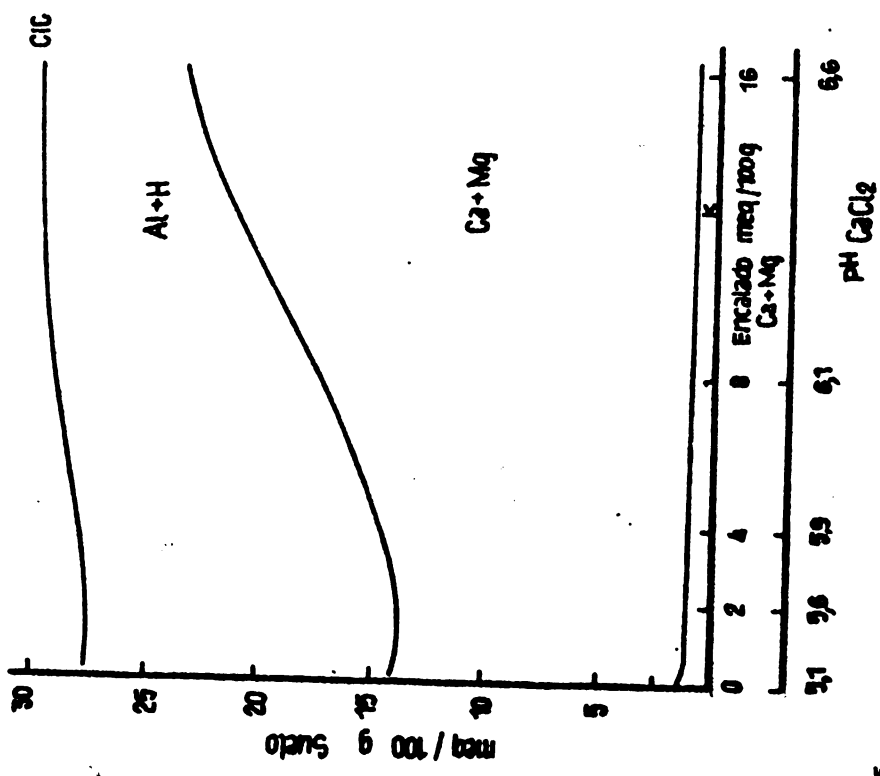


Fig. 6.5 Efecto de encalado sobre la acidez y bases cambiables, en un ultisol de Costa Rica. (Según Fassbender y Párraga, 1975).

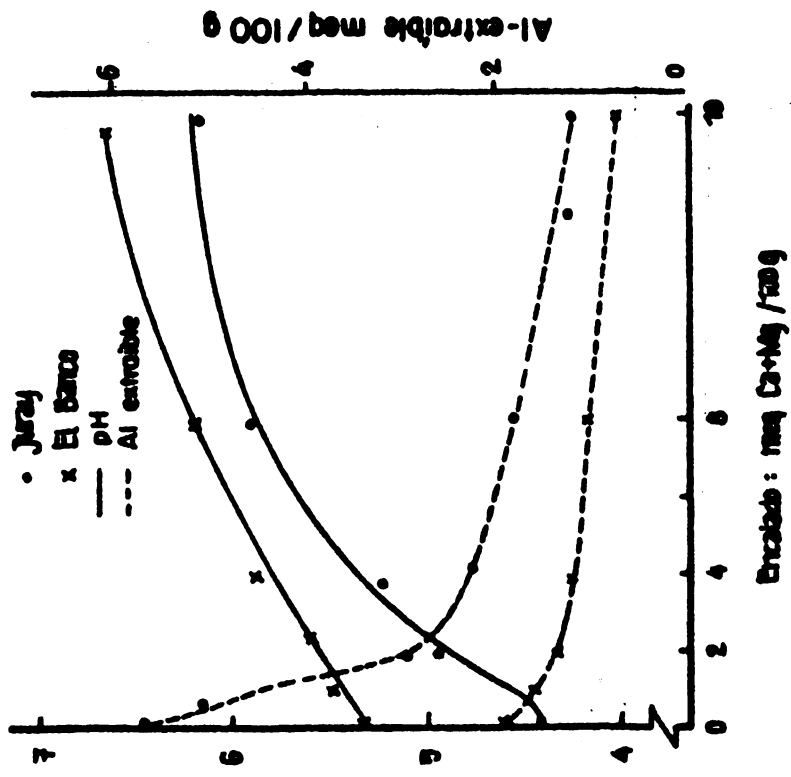


Fig. 6.4 Efecto del encalado 100% de pH y el aluminio extraíble de dos suelos de Costa Rica. (Según Fassbender y Párraga, 1975).

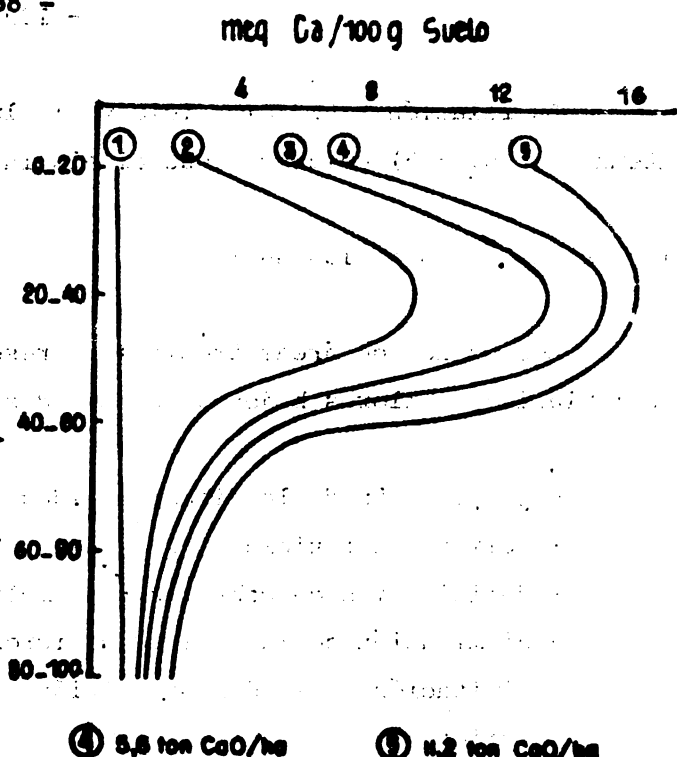
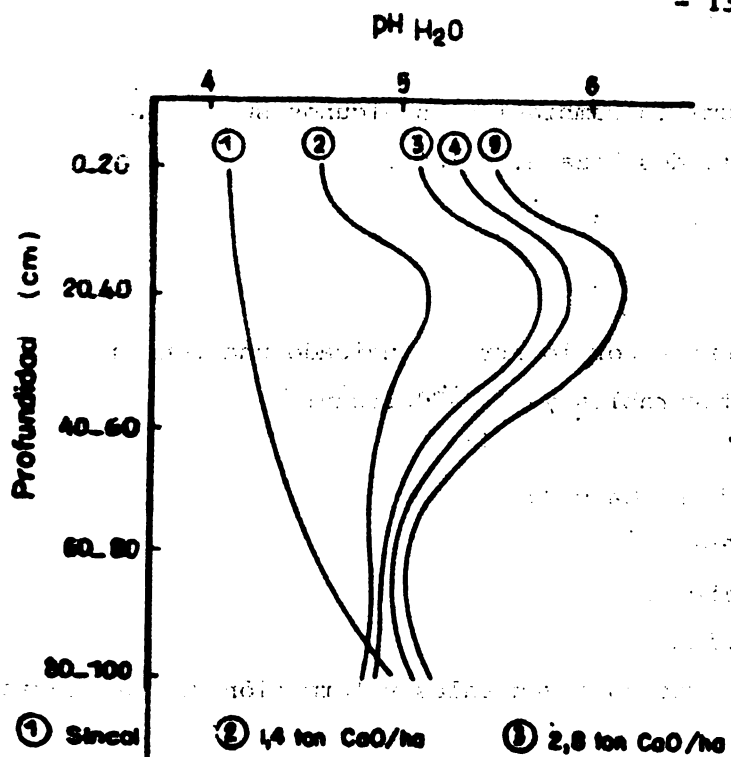


Fig. 6.6 Efecto del encalado sobre el pH del suelo a diferentes profundidades a los 39 meses de su aplicación. (Según Morelli²⁶). Ver Fassbender 1975

Fig. 6.6 Cambios en el calcio cambiante a diferentes profundidades del suelo como efecto del encalado. (Según Morelli²⁶) (Ver Fassbender 1975)

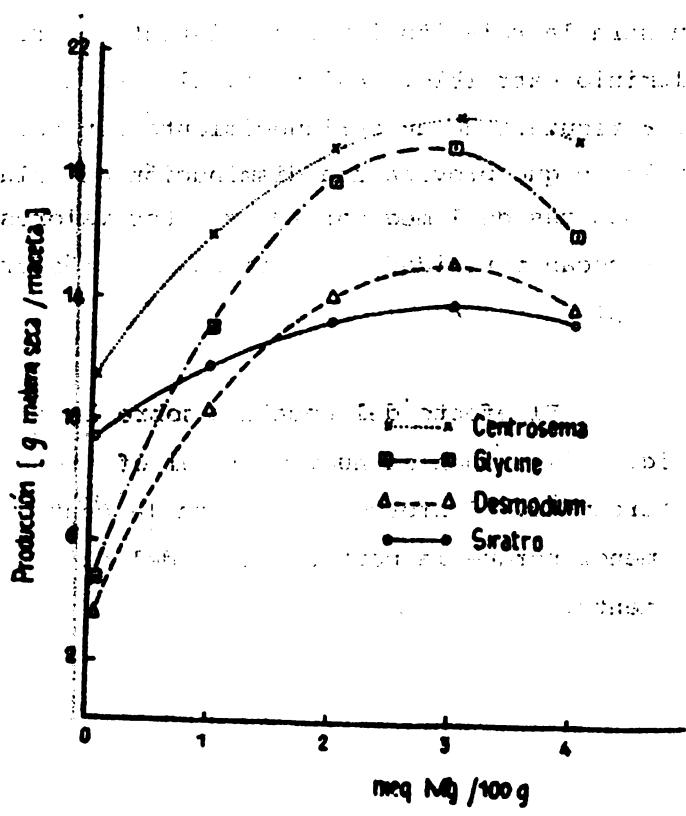
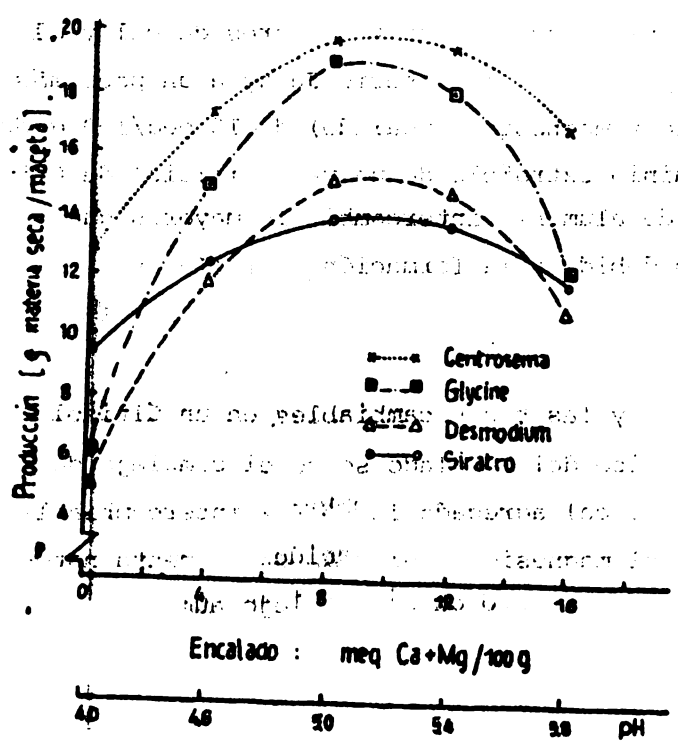


Fig. 6.7 Efectos del encalado y del magnesio cambiante sobre la producción de materia seca de cuatro leguminosas tropicales. (Según Trigo²⁶) (Ver Fassbender 1975).

La relación entre el calcio y el aluminio cambiables en algunos suelos de Guatemala (Fig. 6.3) evidencia que el aluminio desplaza al calcio.

6.1.3 El encalado de los suelos

Los suelos de áreas tropicales presentan por lo arriba indicado una tendencia de acidulación. Valores bajos de pH son desfavorables ya que implican:

- disminución de la disponibilidad de K, Ca y Mg
- peligro de toxicidad de Al, Mn y Boro
- deficiencias de cobre, zinc y molibdeno
- disminución de la actividad microbiana
- limitación de la descomposición de residuos vegetales y formación de sustancias húmicas
- fijación notable del fósforo en formas termicas y aluminicas
- pérdida de la estabilidad de agregados

Para controlar la acidez del suelo es necesario encalar la dosis de cal adecuada puede determinarse con base en el contenido de aluminio extraíble. La Fig. 6.4 muestra la relación inversa existente entre dosis progresivamente mayores de cal y el aluminio extraíble. Así pues, el paso de un pH de 4.5 en la serie Juray a un poco más de 6 requiere de un enriquecimiento con calcio y magnesio (encalado) de 16 meq/100 g de suelo lo que provoca una disminución del aluminio extraíble de un valor inicial de 6.5 a un poco más de 1 meq por 100 g. Los valores de aluminio intercambiable mayores que 6 provocan toxicidad y deficiencia de fósforo debido a la formación de fosfatos de aluminio.

El efecto del encalado sobre la acidez y las bases cambiables en un ultisol (fig. 6.5) evidencia nuevamente el efecto benéfico del encalado sobre el complejo de intercambio. Conforme se aumenta la cantidad de cal agregada la acidez intercambiable es menor porque la participación del calcio y el magnesio en el complejo aumenta notablemente.

El encalado aumenta la capacidad de producción de los suelos pero un exceso de cal resulta perjudicial. La fig. 6.7 muestra este hecho con cuatro leguminosas tropicales. La producción de materia seca máxima de Centrosema, por ejemplo, se alcanza cuando se han agregado 9 meq de Ca+Mg/100 g. La disminución de la producción de materia seca indicada por la caída de la curva d se debe a que la cantidad de cal agregada ha superado su óptimo provocando problemas con la disponibilidad de nutrimentos esenciales como el B, Mo, Mn y Zn y por la sustitución del complejo de intercambio, ya no sólo de la acidez extraíble sino también de otros cationes no perjudiciales.

Así pues, la determinación de la dosis de cal adecuada es importante.

La cal agregada al suelo atraviesa su perfil progresivamente. Esto conlleva a la formación de un frente de cal (ver Fig. 6.6) que, eventualmente, estará por debajo de la rizosfera siendo necesario entonces una nueva encaladura de ese suelo. El hecho de que la cal no esté disponible en todas las zonas del trópico determina que su uso sea en algunos países prohibido.

6.2 Potasio, calcio y magnesio en sistemas agrícolas, forestales y agroforestales

6.2.1 Ciclo en ecosistemas forestales

El K, Ca y Mg es absorbido por las plantas a partir de la solución del suelo y además de encontrarse en forma libre en el líquido celular son constituyentes de enzimas y coenzimas. La clorofila, por ejemplo, posee como centro del anillo aromático de su molécula un átomo de magnesio. El calcio está asociado con enzimas encaragadas de la oxidación de nitratos y cuando su concentración es alta forma sulfato de calcio o cristales de oxalato de calcio en las membranas celulares. El potasio forma parte de enzimas asociadas con los procesos de desasimilación.

Al caerse las hojas estos nutrimentos son llevados de la planta en formas solubles al suelo de donde son acarreados por el agua. En pocas semanas se les halla en la solución del suelo. Antes de la absición foliar la planta reabsorbe un porcentaje alto de los nutrimentos que contiene la hoja. La clorofila es transportada a las yemas

y hojas nuevas quedando las hojas viejas amarillentas al finalizar el proceso. Sobre el suelo se forman las capas OL, OF y OH en las que actúan los organismos. Estos satisfacen sus necesidades nutricionales liberando con sus defecaciones y al final de su vida los nutrimentos capturados. Este paso cierra el ciclo de estos elementos entre la solución del suelo y la planta.

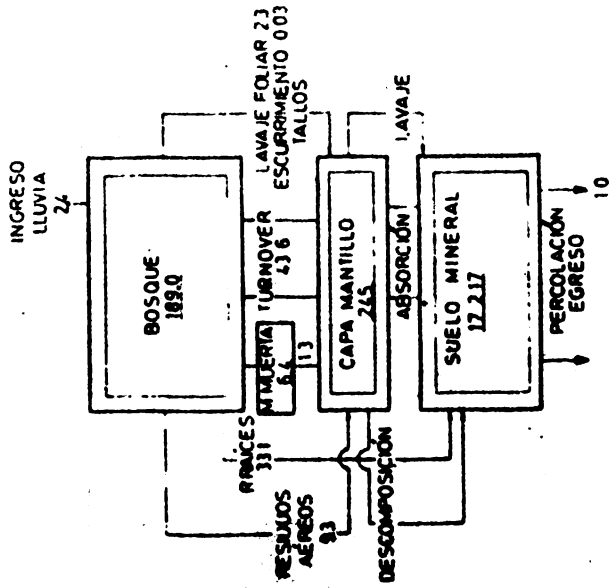
Para describir el ciclo de K, Ca y Mg, es necesario determinar sus contenidos en los diferentes compartimentos del ecosistema (suelo, mantillo, vegetación) y determinar las transferencias con los residuos vegetales y el agua. En el caso del ecosistema de San Eusebio las reservas de potasio en el suelo son limitantes, especialmente si se piensa en la remoción de la vegetación. Las reservas de Ca y Mg en el suelo representan 29 y 33 por ciento del total del ecosistema. Las tasas de transferencia de K, Ca y Mg, y de otros elementos diferentes ecosistemas tropicales están sumariadas en la figura 3.6. El ingreso a los ecosistemas con el agua de lluvia generalmente es bajo.

El modelo del ciclo del aluminio en el ecosistema forestal de San Eusebio (fig. 6.8) revela que el mayor contenido de aluminio se encuentra en el suelo, esto es, 17217 kg/ha. Aunque las plantas no lo absorben en forma activa se da un turnover o reciclaje de 43.6 kg/ha de aluminio entre las plantas y el suelo. Como no existen trabajos similares no se sabe si estos valores son críticos.

En un estudio llevado a cabo en un bosque de San Carlos de Río Negro (fig. 6.9) se determinaron el contenido y flujos de calcio, potasio y mercurio. La suma de estos tres cationes hace difícil la interpretación.

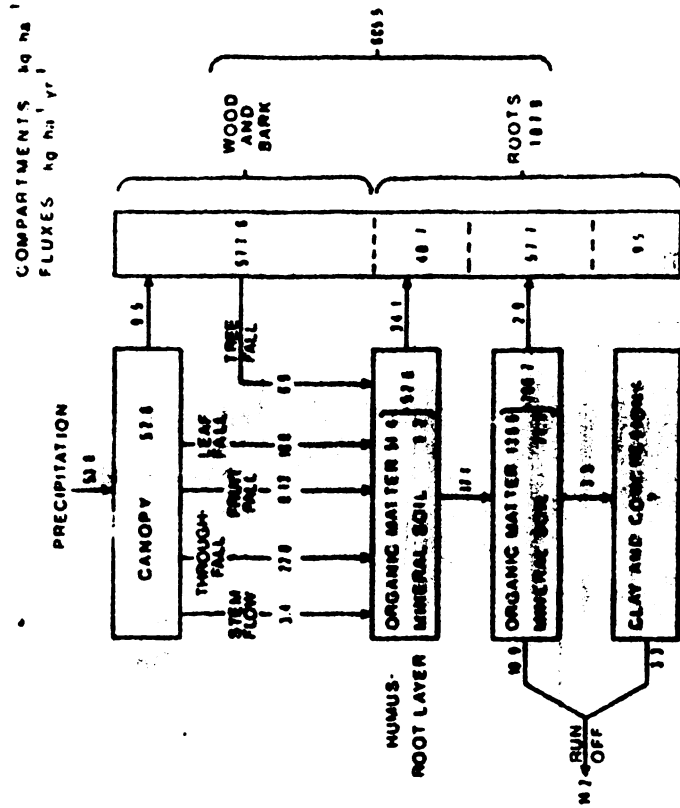
5.2.2 El K, Ca y Mg en la remoción e de bosques

Los detalles correspondientes han sido tratados en el capítulo 2.6.6. La tumba y quema de los bosques implica una oxidación de K, Ca y Mg (3.11) y la formación de los óxidos correspondientes. Así entonces aumenta el pH (Fig. 3.12) y los contenidos de bases cambiabiles (Cuadro 6.3). En la fertilidad de los suelos resulta una disponibilidad adecuada de K, Ca, Mg; con la percolación del agua y los elementos disueltos se produce sin embargo una pérdida muy rápida de la fertilidad.



6.8 Modelo del ciclo del aluminio en el ecosistema forestal de San Eusebio (Dimensiones: compartimentos kg/ha, transferencias kg/ha y año). *Fernández y Grimm, 1981*

Figura 9 Componentes de ciclo de carbono, nitrógeno, y magnesio en un bosque tropical húmedo en San Carlos de Río Negro (Herrera et al. 1981)



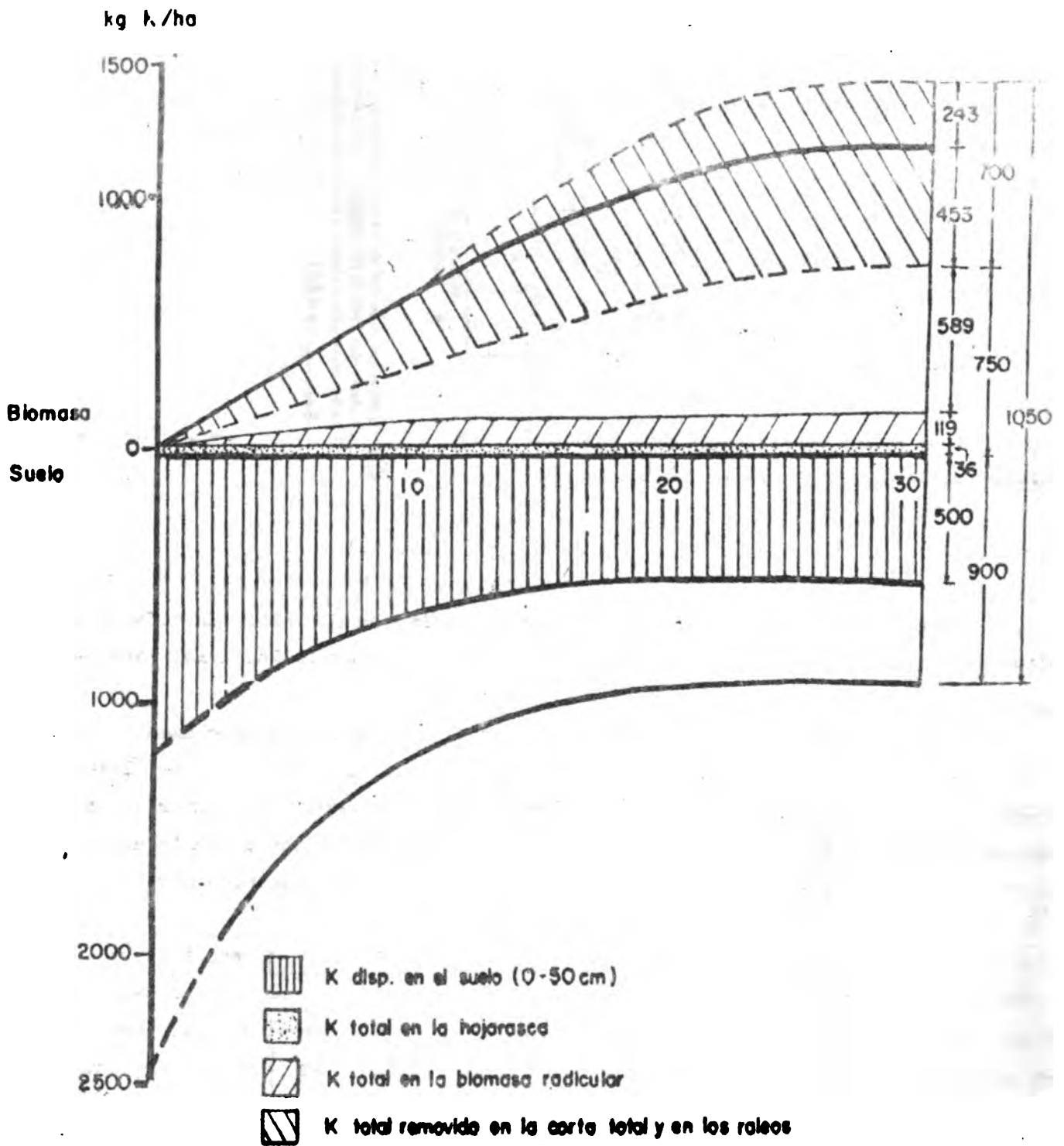


Fig. 5.10 Cambios en la distribución del potasio en la biomasa, la hojarasca y el suelo (0-50 cm) durante una rotación de *Pinus patula* en Tanzania (según Lundgren, 1978)

5.2.3 El K, Ca y Mg en plantaciones forestales

Solo se conocen los datos para *Pinus patula* y *Cupressus lusitanica* de 30 años en Tanzania (Lundgren, 1978) y *Pinus caribaea* de 10 años en Nigeria (Equjjobi y Bada 1979). La remoción promedio anual de K, Ca y Mg arroja los siguientes valores (kg/ha y año, Cuadros 4.4, 4.5, Figura 6.10):

	K	Ca	Mg
<i>Pinus patula</i>	23	25	9
<i>Cupressus lusitanica</i>	24	41	3
<i>Pinus caribaea</i>	37	30	12

Estos valores dependen lógicamente del material parental de los suelos y las prácticas de manejo de las plantaciones.

6.2.4 El K, Ca y Mg en sistemas de producción agroforestales

A manera de ejemplo se presentan algunos resultados obtenidos en diferentes estudios de sistemas de producción agroforestales en el CATIE, Turrialba (ALPIZAR, 1983).

En el Cuadro 6.3 se observa en general que los contenidos de elementos K, Ca y Mg disminuyen en la dirección de hojas, ramas y tallos. Los contenidos de elementos nutritivos de hojas, ramas y tallos del café bajo sombra de laurel son muy similares a los contenidos de hojas, ramas y tallos del café bajo sombra de poró, con la única excepción de que las hojas y tallos del café bajo poró contienen un poco más alto de potasio.

De la determinación de elementos en la biomasa del sistema café + laurel, café + poró (Cuadro 6.4) se desprende que el laurel presenta el siguiente orden de clasificación en cuanto a la cantidad promedio de nutrimentos acumulados en los tallos, ramas y hoas (kg/ha): 198, 3 K, 182 Ca y 67,2 de Mg. El poró por su parte presenta (kg/ha): 213,7 K, 184,6 Ca y 52,1 de Mg. Para el caso del poró, el 65% del K se encuentra en las hojas y ramas, así mismo el 64% de Ca y el 58% de Mg, que se reporta. El cafeto bajo sombra del a laurel presenta el siguiente orden (kg/ha): 77,3 de Ca, 30.7 de K, y 8,7 de Mg; mientras que bajo poró es de 155,5 de Ca, 124, 1 de K y 24,8 de Mg. Sep puede observar que el café bajo poró tiene mayores contenidos de K, Ca y Mg que bajo el sistema con laurel, a su vez, el poró aporta al sistema mayor contenido de dichos elementos que el laurel, y dichos elementos nutritivos se encuentran en más del 50% en

las hojas, y ramas.

Cuadro 6.3 Contenido de elementos nutritivos de los compartimentos del café, cacao árboles de poró y árboles de laurel (en %).

SISTEMA	CAFE + LAUREL					
	HOJAS		RAMAS		TALLOS	
	Café	laurel	café	laurel	Café	laurel
K	0.22	2.28	0.46	1.18	0.44	0.46
Ca	1.06	1.72	1.00	0.46	0.94	0.54
Mg	0.10	0.82	0.08	0.26	0.14	0.17

SISTEMA	CAFE + PORO					
	HOJAS		RAMAS		TALLOS	
	Café	Poró	Café	Poró	Café	Poró
K	0.72	1.59	0.40	1.42	1.02	0.38
Ca	1.24	1.40	1.04	0.72	0.94	0.82
Mg	0.30	0.47	0.12	0.27	0.14	0.12

En asociaciones con cacao se observa que el laurel presenta orden de clasificación en cuanto a la cantidad promedio de nutrimentos contenidos en los tallos, ramas y hojas (kg/ha): 242,7 k, 208,4 de Ca y 80.5 de Mg. El poró presenta el siguiente orden (kg/ha). 237,1 de K, 235,7 de Ca y 77,4 de Mg. Para el caso del poró el 82% del K, 77,4 del Ca y el 79,3% de Mg se encuentran en las hojas y ramas. El cacao bajo sombra del laurel presenta el siguiente orden (kg/ha): 99,7 de Ca, 98,8 de K y 41,8 de Mg por su parte el cacao bajo poró fue de: 95.2% de K, 49,1 de Ca y 23,6 de Mg. En este caso los sistemas se encuentran relativamente similares.

Los sistemas de ^{café} asocio que incluyen el laurel, tanto en cacao como en ~~poró~~ tienen mayor peso de raíces comparado con el poró, ésto mismo se observa en los contenidos de K, Ca y Mg en las raíces, y en las reservas de dichos elementos nutritivos. Al comparar café con cacao, el café supera al cacao, tanto en peso total de raíces como en el contenido y reserva de K, Ca y Mg.

Los datos de producción frescos y como materia seca de café en pulpa se presentan por año y por parcela en el cuadro 6.5. Así mismo, se presentan los datos correspondientes a la cantidad de nutrientes extraídos (K, Ca y Mg) por el promedio de producción del año de observación y por el promedio total de producción durante los 4 años de cosechas.

El promedio de producción en grano seco para las cosechas realizadas en marzo y julio de 1979 fue de 211 kg/ha en el sistema café + laurel y de 676 kg/ha para el sistema café + poró. (Figura 6.11 y 6.12). En el mismo cuadro se encuentran las cantidades totales de K, Ca y Mg supuestamente extraídas por tales cosechas, dichos cálculos se basaron en las concentraciones de nutrimentos hallados en muestras de semillas obtenidas en 1982 de un lote comercial del CATIE.

De dichos datos en que se presenta la extracción promedio de elementos nutritivos, se destaca la extracción del potasio, 138 kg en las 4 cosechas bajo sombra de laurel y 170 kg en las 4 cosechas bajo sombra de poró. El segundo lugar en importancia de elementos extraído lo ocupa el calcio 10 con 52 kg como promedio en café + laurel y 66 kg en cacao + poró, luego está el Mg.

K, Ca y Mg en la biomasa de los sistemas café + laurel y café + poró (kg/ha)

	LAUREL			CAFE				PORO			CAFE			
	hoj.	ram.	tall.	hoj.	ram.	tall.	rafc.	hoj.	ram.	tall.	hoj.	ram.	tal.	raíce
K \bar{x} (kg/ha)	51.7	37.2	109.4	4.1	10.1	16.5	9.3	74.5	109.2	29.4	19.4	15.2	89.5	6.1
F	18.6	5.7	25.6	1.1	1.6	2.6	-	7.9	13.3	8.2	3.7	0.9	17.6	-
Ca \bar{x} (kg/ha)	39.0	14.5	128.5	20.0	21.9	35.4	23.5	65.5	55.6	63.5	33.4	39.6	82.5	10.1
F	14.0	2.2	30.0	5.6	3.6	5.6	-	6.9	6.7	17.6	6.5	2.3	16.2	-
Mg \bar{x} (kg/ha)	18.6	8.2	40.4	1.8	1.7	5.2	5.8	22.0	20.8	9.3	8.1	4.5	12.2	3.0
F	6.7	1.2	9.4	0.5	0.3	0.8	-	2.3	2.5	2.5	1.5	0.2	2.4	-

S. STIMA

U
Poro cafe

Kg/ha reservas
Kg/ha yaino trans!

	PORO	210	
	HOJAS	79 ± 8	
2.6	RAMAS	110 ± 13	
	TALLOS	29 ± 8	
	CAFE	188	
45.5	HOJAS	19 ± 4	
2.1	RAMAS	15 ± 1	
	TALLOS	90 ± 18	
13.8	FRUTOS	58	43.8
	RAICES	6.1	
75.4	MANTILLO		
	SUELO		
	0-15	mg/100	0.27
		Kg/ha	
	15-30	mg/100	0.20
		Kg/ha	
	30-45	mg/100	0.17
		Kg/ha	

SISTEMA : *U*
Laurel cafe

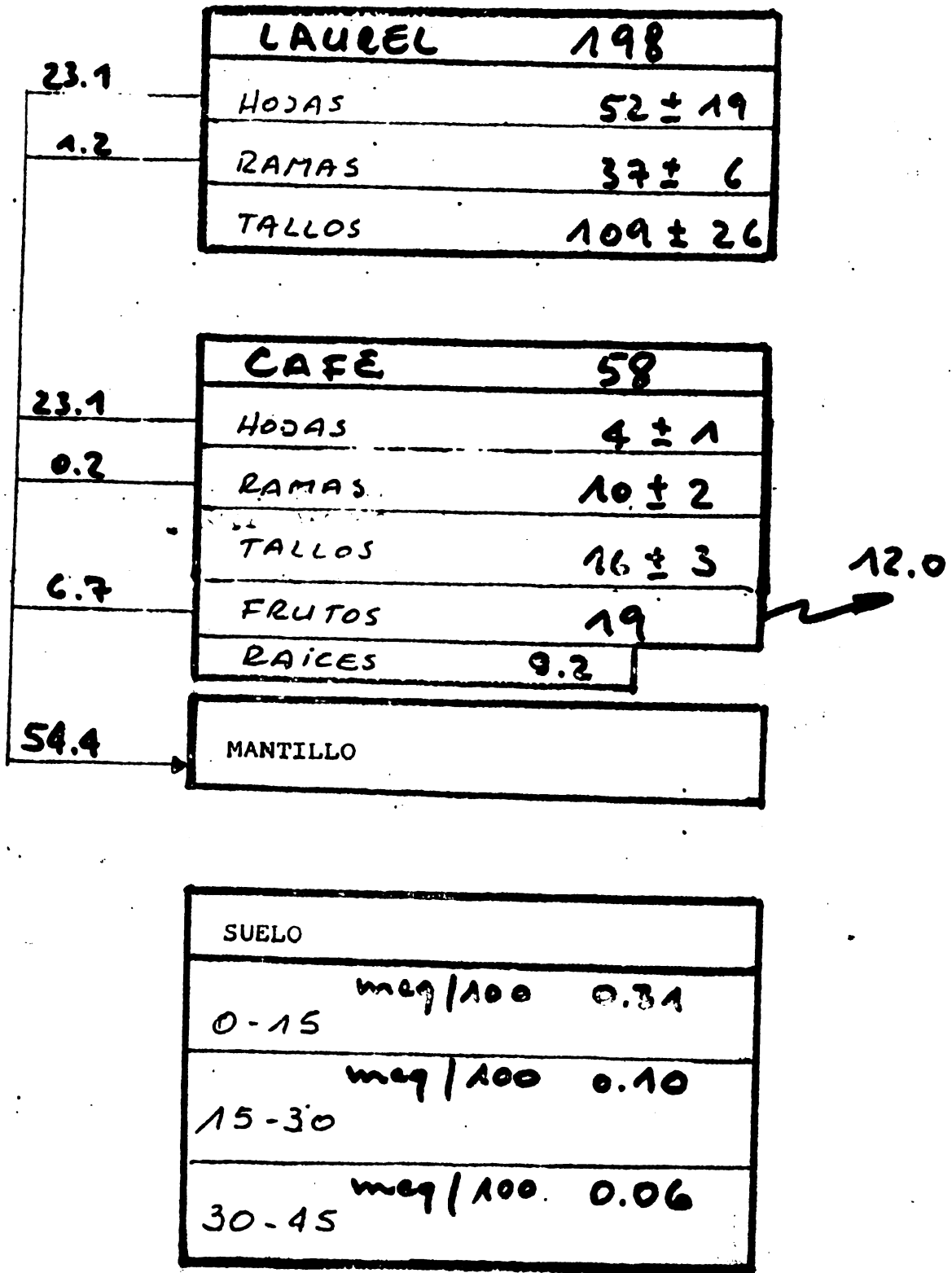


Figura 612

LITERATURA CITADA

Además de la literatura del Capítulo 3.

1. BOLETINES VERDES. 1-20 entre otros: tabaco, piña, banano, coco, palmera, leguminosas leguminosas, tubérculos, tropicales. Hannorer, Alemania 1960-1970, s.p.
2. BORNEMISZA, E. y ALVARADO, A. Soil management in tropical America. North Carolina University, 1975, 565 p.
3. CARVAJAL, J.F. Cafeto cultivo y fertilización. San José. Instituto Nacional Internacional de Potasa, Berna, Suiza. 1972.
4. COMMITTEE ON TROPICAL SOILS. Soils of the humid tropics. National Academy of Science Washington, D.C. 1972.
5. FASSBENDER, H.W., VIEIRA, L. y STABILE, M.E. Equilibrios catiónicos y liberación de potasio en algunos suelos de la Amazonia del Brasil. Revista de la Potasa (Suiza) 4(56). 1970.
6. _____ .Equilibrios catiónicos y disponibilidad de potasio en suelos de América Central. Turrialba (Costa Rica) 22(4): 388-397. 1972.
7. FRIED, M. y BROESHART, H. The soil plant system in relation o to inorganic nutrition. New York, Academic Press, 1967 358 p.
8. GEUS, J.G. de: Fertilizer guide for the tropics and subtropics. Centre d'Etude de L'Azote. Zurich, 1978, 773 p.
9. JACOB, A. y v. CLEKKULL, H. Fertilización, nutrición y abonado de cultivos tropicales y subtropicales. Amsterdam, 1961. 459. p.
10. RUSSELL, E.J. Soil conditions and plant growth. 9 ed. London, Longmans, 1961. 668
11. SCHEFFER, F. y SCHACHTSCHABEL, P. Lehrbuck der Bodenkunde. 6 ed. Suttgart, F. Enke Verlag, 1966. 473 p., 7 ed. 1970. 443 p.
12. SUAREZ DE-CASTRO, F. La quema como práctica agrícola y sus efectos. Tesis de Mag. Agr. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1956- 55 p.