

CENTRO INTERAMERICANO DE DOCUMENTACION
INFORMACION Y COMUNICACION AGRICOLA

14 AGO 1981

CIDIA — TURRIALBA COSTA RICA

FACTORES EDAFICOS EN LAS COMBINACIONES AGROFORESTALES

Gonzalo De Las Salas

Trabajo preparado para el curso sobre "Técnicas Agroforestales para el Trópico Húmedo", patrocinado por el CATIE y la Deutsche Stiftung für internationale Entwicklung, DSE, Turrialba, Costa Rica, diciembre, 8-16, 1980.

Esta publicación fue preparada con el apoyo financiero del Programa Suizo de la Cooperación para el Desarrollo, DDA.

CENTRO AGRONOMOICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA, CATIE
Programa de Recursos Naturales Renovables
Turrialba, Costa Rica, 1980



SALAS, G. DE LAS.* Factores edáficos en las combinaciones agroforestales. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1980. 14 p. 21 refs.
(Trabajo presentado en el Curso sobre Técnicas Agroforestales para el Trópico Húmedo, Turrialba, Costa Rica, 1980).

R E S U M E N

Se describen y discuten las condiciones edáficas que afectan el rendimiento y crecimiento de los cultivos destacando entre ellas la humedad, el espacio aéreo y los nutrimentos. En la evaluación de estos factores se concibe el suelo como un componente del sistema de finca (agroecosistema) considerándolo a la vez como un factor de producción. Se menciona el problema que enfrenta el agricultor de mantener niveles altos de producción de cosechas en forma sostenida, para lo cual utiliza tres alternativas: 1. uso de fertilizantes comerciales; 2. uso de abonos orgánicos acumulados fuera de la finca (i.e. compost); 3. recirculación de nutrimentos entre componentes del mismo sistema. Se hace especial énfasis en el manejo de los factores edáficos, específicamente en la utilización de indicadores edáficos como elementos de diagnóstico en la producción de cultivos y árboles tanto solos como combinados. Como tales indicadores se definen y describen pF, pH, nutrimentos, relaciones C/N, C/P y el índice de textura. Se recomienda trabajar con estos indicadores como base para desarrollar modelos de predicción de rendimiento de cosechas.

Palabras claves: Sistemas agroforestales/ Fertilidad de Suelos/
Agroecosistemas/ Suelos tropicales

S U M M A R Y

The edaphic conditions that influence crop yield and growth of which soil humidity, aeration and nutrients are pointed out, are described and discussed. In the evaluation of these factors the soil is considered as a component of the farming system (agro-ecosystem) and as a production factor as well. The problem of the farmer, namely maintenance of high levels of crop production in a sustainable way is faced by him as follows: 1. use of commercial fertilizers ; 2. utilization of organic compounds outside the farm; 3. recycling of nutrient among components of the systems. Special emphasis is made in the management of edaphic factors, specifically those which can be used as indicators of soil productivity for crops and trees. Such indicators are for example: pF, pH, nutrients, C/N, and C/P-ratios and the textur index. The use of these parameters as a basis to develop "crop production models" is recommended.

Additional key words: Agroforestry systems/ Soil fertility
Agroecosystems/ Tropical soils

*Dr.Sc.For. Gonzalo De las Salas. Especialista en Suelos Forestales.
CATIE, Turrialba, Costa Rica.

INTRODUCCION

La maximización de la producción de cosechas exige un manejo óptimo de los insumos. La silvicultura y las ciencias agronómicas se ocupan del manejo de tales insumos. Un componente del ecosistema vegetal que recibe insumos (p. e. fertilizantes, semillas, riego), es el suelo. En él se realizan procesos de nutrición muy importantes para la planta en el espacio radical intensivo. Las propiedades intrínsecas del suelo (físicas y químicas) juegan un papel primordial en estos procesos.

Cuando se tiene que manejar el suelo como un factor de producción interesan entonces dos preguntas:

- Cómo reconocemos y juzgamos las propiedades del suelo relevantes para la producción de cosechas;
- * - Cómo mejoramos y mantenemos las condiciones edáficas que nos permitan lograr y mantener niveles altos de producción en forma sostenida.

La respuesta a estos interrogantes exige sin duda - a diferentes niveles de detalle - una concepción de la morfología del suelo, de sus procesos y de su variabilidad geográfica.

La influencia de los llamados sistemas multiestrata es decir, aquellos que combinan cultivos agrícolas con árboles, sobre el ambiente edáfico puede ser de mucha importancia por ejemplo en los cambios en la materia orgánica, su calidad y descomposición, su efecto sobre la retención de nutrimentos y sobre la capacidad de infiltración del suelo mineral. A su vez, las propiedades del suelo influyen sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos agrícolas y de los árboles.

Las siguientes notas pretenden describir los factores edáficos más relevantes, en opinión del autor, en el crecimiento y desarrollo de plantas cultivadas agrícolas o forestales, solas o en combinación.

EL SUELO Y EL AMBIENTE

Antes de describir los factores edáficos que influyen en el crecimiento de los cultivos, parece didáctico entender el suelo como un componente del medio, de un sistema (agroecosistema). La importancia de los factores ecológicos (incluidos los edáficos) que controlan el crecimiento vegetal ha sido destacada en los textos clásicos de fisiología y edafología. Tales factores, su descripción e interacción dentro del habitat están tratados in extenso en el libro de Hardy (1970).

En los agroecosistemas es lógico concebir el suelo como un subsistema con estructura, funciones, entradas y salidas. La figura 1 ilustra este concepto. Burgos (1979) anota que los procesos hídricos, químicos y bióticos del suelo interactúan entre sí dentro de una unidad que puede denominarse "sistema de suelo". El concepto de "sistema" fue introducido a la ecología por Tansley en 1935 y desarrollado por varios investigadores, entre los cuales se destaca H.T.Odum.

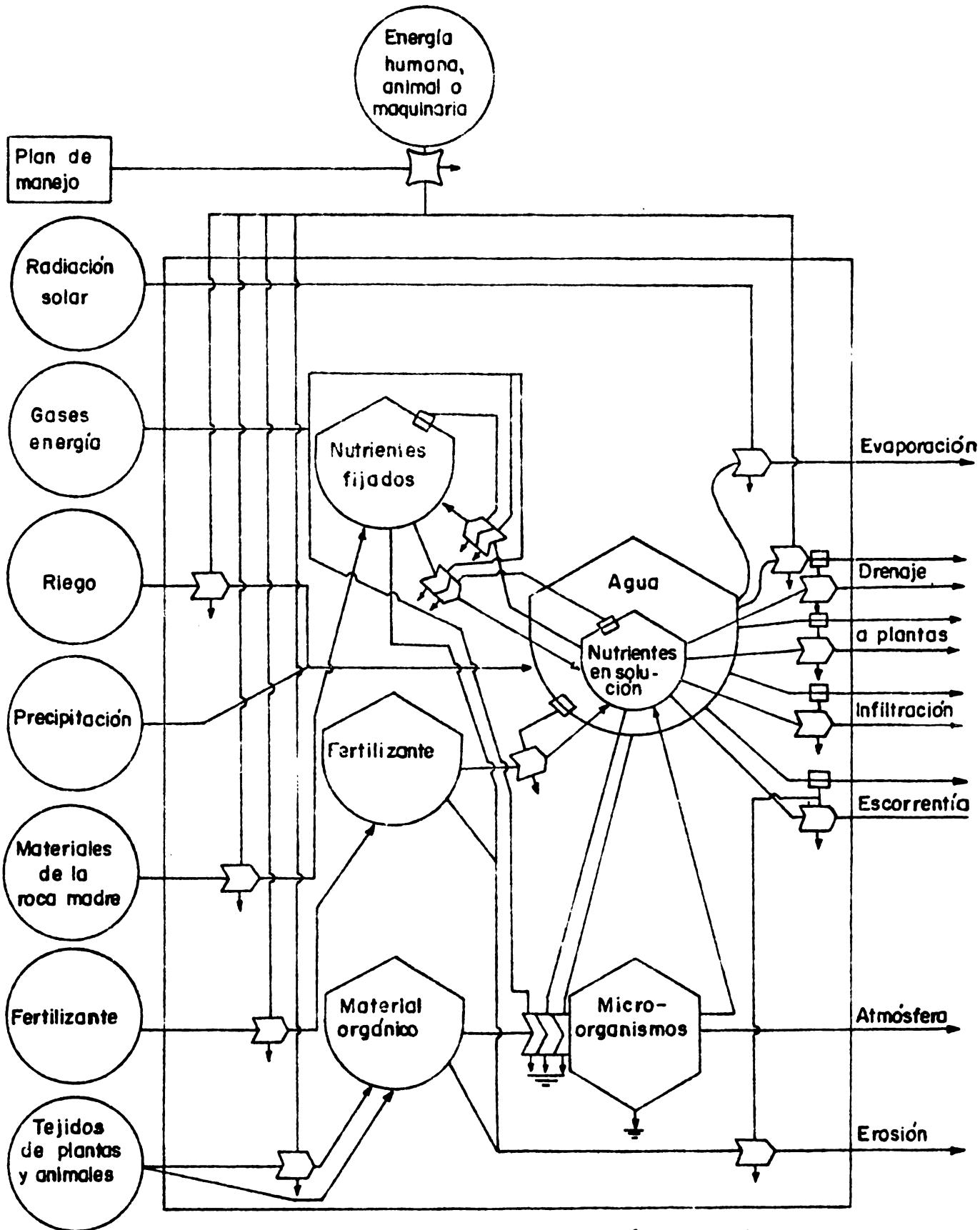


Figura 1. El flujo de materiales y energía en un sistema de suelos que funciona como un subsistema de un agroecosistema. Se ha asumido que los componentes principales del subsistema son nutrientes fijados, nutrientes en solución, agua almacenada, material orgánico, microorganismos y fertilizante (cuando es aplicado). (Burgos, 1979)

La definición, componentes, estructura y función de un sistema están reseñados por Hart (1979) y su referencia detallada sobra para los efectos de este escrito.

CONDICIONES EDAFICAS QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD DE LA TIERRA

Las condiciones edáficas que normalmente influyen sobre el crecimiento de las plantas son de carácter físico y químico. La fisiografía no es un factor edáfico propiamente dicho pero influye grandemente en la forma de utilización de los terrenos. Dentro de las propiedades del suelo que están frecuentemente asociadas con el crecimiento de las plantas, se destacan: la humedad, la aeración y el estado nutricional. Estos parámetros están relacionados, especialmente en el espacio intensivo radical, con la productividad del sitio para árboles o cultivos agrícolas o ambos.

Humedad

Los procesos vitales son posibles solamente en un medio acuoso. Por ésto, el agua es un factor muy importante para la planta como medio de transporte de nutrimentos. La figura 2 es una representación simplificada de la dinámica de agua de un sitio cubierto con plantas. Para su crecimiento, es muy importante la intensidad de fijación o tensión de humedad expresada en pF^* , Bares o valores de pF^* .

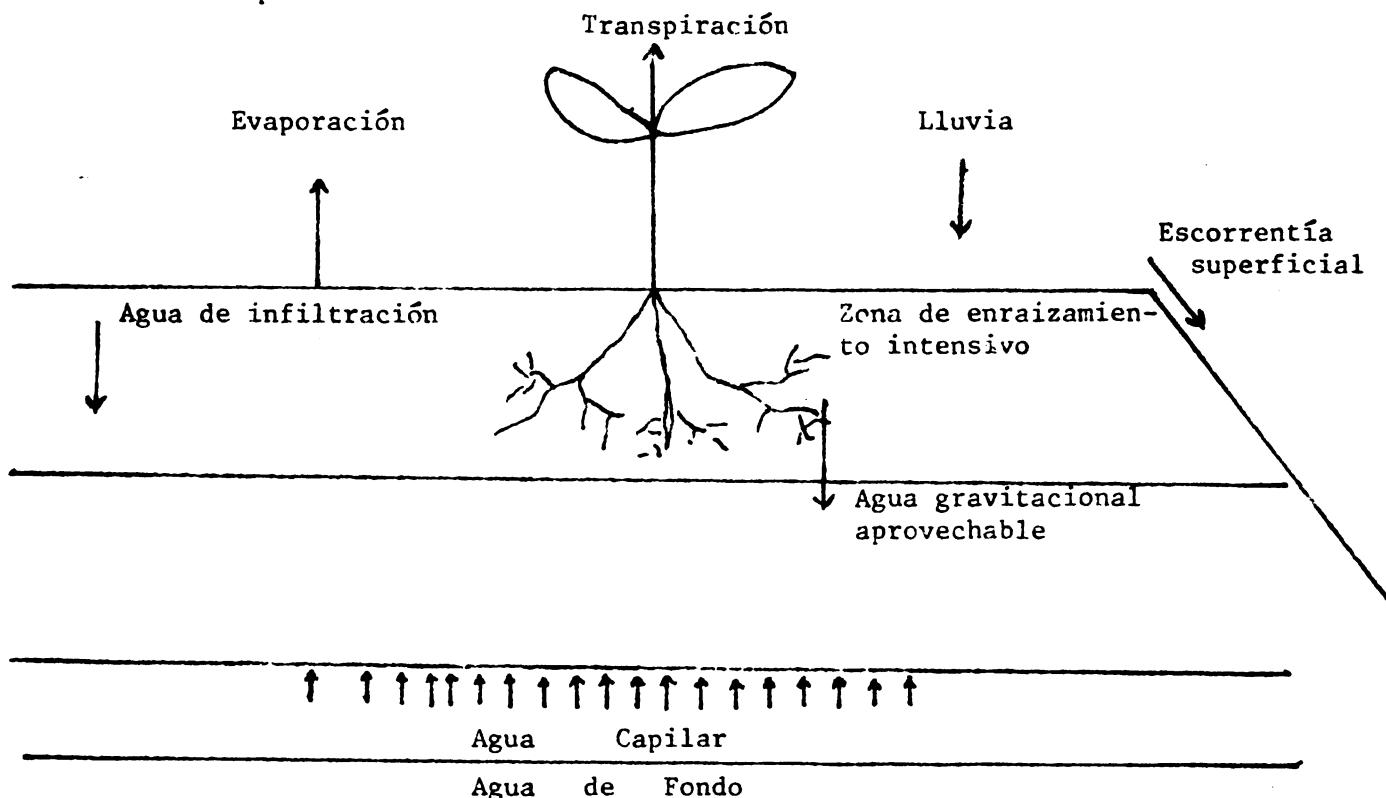


Fig. 2: Representación simplificada de la dinámica de agua del sitio.

* pF : expresión equivalente al logaritmo de la presión de succión de una columna de agua en cm.

Las relaciones entre la tensión en Atmósferas, la columna de agua y el estado de humedad del suelo, se pueden expresar como sigue:

at.	cm. columna de agua	pF	Estado de humedad del suelo
0	0	0	Agua libre
0,1	100	2	Mojado
1	1000	3	Húmedo
10	10000	4	Seco
10000	10 ⁷	7	Agua fijada (no extraíble por las raíces)

Dos puntos críticos limitan el agua aprovechable por la planta: el marchitamiento permanente ($pF > 4,2$) equivalente a una presión mayor de 15 at. y la capacidad de campo ($pF < 2,7$) equivalente a una presión de 0.3 at. Este intervalo se denomina espacio capilar y en él se desarrollan los procesos más importantes de la dinámica de agua del suelo.

El agua aprovechable para la planta y otras condiciones edáficas que afectan la humedad del suelo (textura, aeración, estructura) han sido destacadas en estudios de "calidad de sitio" por varios autores (Ralston, citado por Barros 1980); Vincent 1978; Fassbender et al 1977; Foelster y Fassbender 1977).

La duración de un período de déficit durante el desarrollo de la planta influye sobre su rendimiento como se mencionó. Este hecho se ha expresado en tiempo (déficit en días), como déficit total expresado en cm de lámina de agua (Smith 1966) o como la succión promedio en función del tiempo y la profundidad del suelo (Taylor 1952).

Cuando el balance hídrico es positivo, el exceso de agua puede servir para aumentar la humedad del perfil hasta la capacidad de campo aumentando así la reserva para épocas secas, pero si es negativo, la humedad del suelo puede llegar por debajo de la evapotranspiración potencial y someter a las plantas a grandes esfuerzos para extraer agua del medio edáfico. Con base en datos climatológicos se puede calcular el balance hídrico como herramienta para estimar la humedad de los suelos, crítica para los cultivos. Esto es de gran importancia para el agricultor. Los períodos de sequía pueden afectar grandemente el rendimiento de los cultivos agrícolas. En El Salvador, Rico (1979) documenta detalladamente el efecto de la época seca ("canícula interestival") sobre los cultivos. Concluye que esta "canícula" prolongada causa un daño general en la vegetación a causa de un déficit en la humedad del suelo. Comprobó que en muchos sitios un período de 5 días de sequía era crítico para las cosechas y uno entre 8 y 12 días causaba hasta el 60% de pérdida en la cosecha esperada.

Muchos suelos centroamericanos derivados de cenizas volcánicas tienen capas endurecidas poco profundas, las cuales pueden restringir el desarrollo radical y por lo tanto, reducir también la capacidad de almacenamiento de agua del perfil del suelo.

Un sistema agroforestal supuestamente consume más agua que un monocultivo aunque la transpiración depende del tamaño y la forma de la copa de la especie arbórea. Giraldo *et al* (1980) encontraron valores muy altos de humedad del suelo (inceptisoles y mollisoles) en Colombia al estudiar la relación de los factores edáficos con el crecimiento del laurel (*Cordia alliodora*) asociado con café. Estos autores afirman que las plantas, sobre todo las especies arbóreas, no sufren por falta de agua ni aún en los veranos más rigurosos.

En el trópico húmedo los problemas de manejo físico del suelo se originan más por exceso que por falta de agua.

Espacio aéreo

La difusión es el mecanismo más importante para facilitar el intercambio de gases entre el aire del suelo y la atmósfera. Esta difusión se realiza hacia afuera, con CO₂ y hacia adentro con O₂. La capacidad de difusión del suelo depende de su espacio aéreo.

El espacio aéreo es igual a la porosidad total menos la humedad volumétrica. Esto quiere decir que si la humedad aumenta (suelos mal drenados) o si la porosidad total se reduce (compactación del suelo), el espacio aéreo disminuye. Una buena aeración favorece la absorción de agua y nutrientes por la planta. Forsythe (1970) comenta sobre valores de aeración requeridos por el frijol R-27 (25%) y por la caña de azúcar (11%), aunque estima que un valor de 10% se usa como guía para cualquier cultivo en general cuando no se dispone de datos.

Una aeración deficiente se ha tenido repetidas veces como responsable del pobre desarrollo de árboles forestales. Sin embargo, existen pocos datos en la literatura que hagan evidente esta afirmación.

La capacidad de aire del suelo está influenciada principalmente por la vegetación, la textura y el contenido de materia orgánica. Estos factores merecen investigarse en detalle en las combinaciones agroforestales.

Vale la pena hacer notar que el drenaje del suelo, y por lo tanto la aeración, está influenciado por condiciones externas. La figura 3 ilustra este hecho. Por otra parte, las medidas de corrección del drenaje del suelo tienen también su efecto sobre la planta (a través de procesos biológicos y químicos) y las condiciones hidrológicas del sitio. Esto se representa en la figura 4. Desde el punto de vista del agricultor, tal efecto se manifiesta en la producción de su finca. Forsythe (1970) comenta que en suelos de Turrialba, un sistema de drenaje con 80% de seguridad, drenaría 8,7mm/día, tasa que beneficia definitivamente el rendimiento de los cultivos de la zona. Otra forma de mejorar la aeración del suelo es mediante el arado y rastrillado, lo cual mejora la porosidad total de la capa arable.

Las consideraciones anteriores sugieren que el espacio aéreo a disposición de las raíces varía según el cultivo y su asocio con otros. En las combinaciones agroforestales generalmente la especie forestal no debería competir con el cultivo por espacio aéreo ya que sus raíces profundizan más; incluso mejoran esta condición por la formación de canalículos (pedotúbulos). Una competencia más marcada se ejerce en el sistema suelo/planta por agua y nutrimentos y, naturalmente, por espacio vital. En los estudios sobre sistemas de cultivo ("cropping systems")

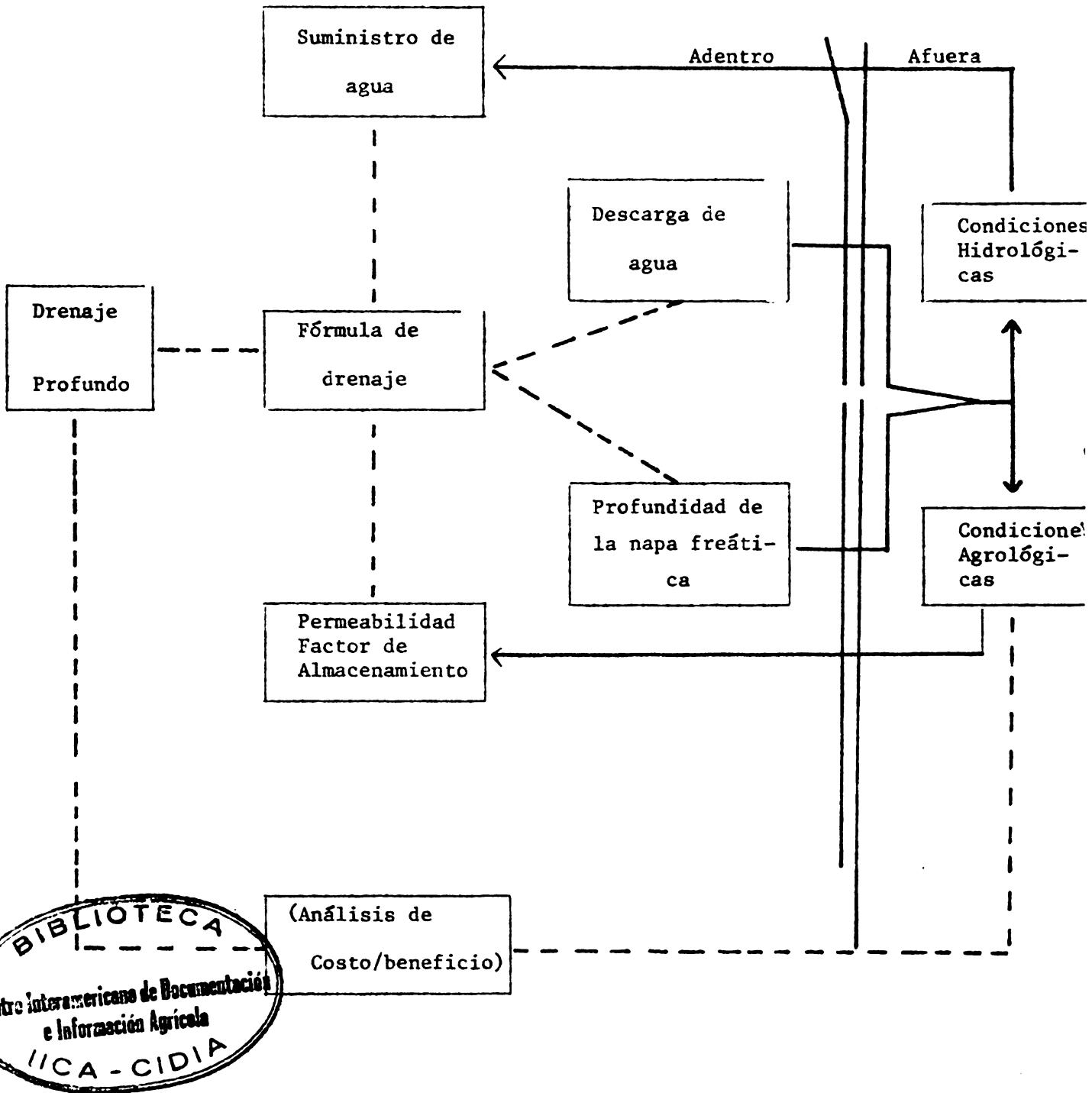


Fig. 3 : El drenaje del suelo está influido por condiciones externas (adaptado de Oosterbaan, R.J. 1978).

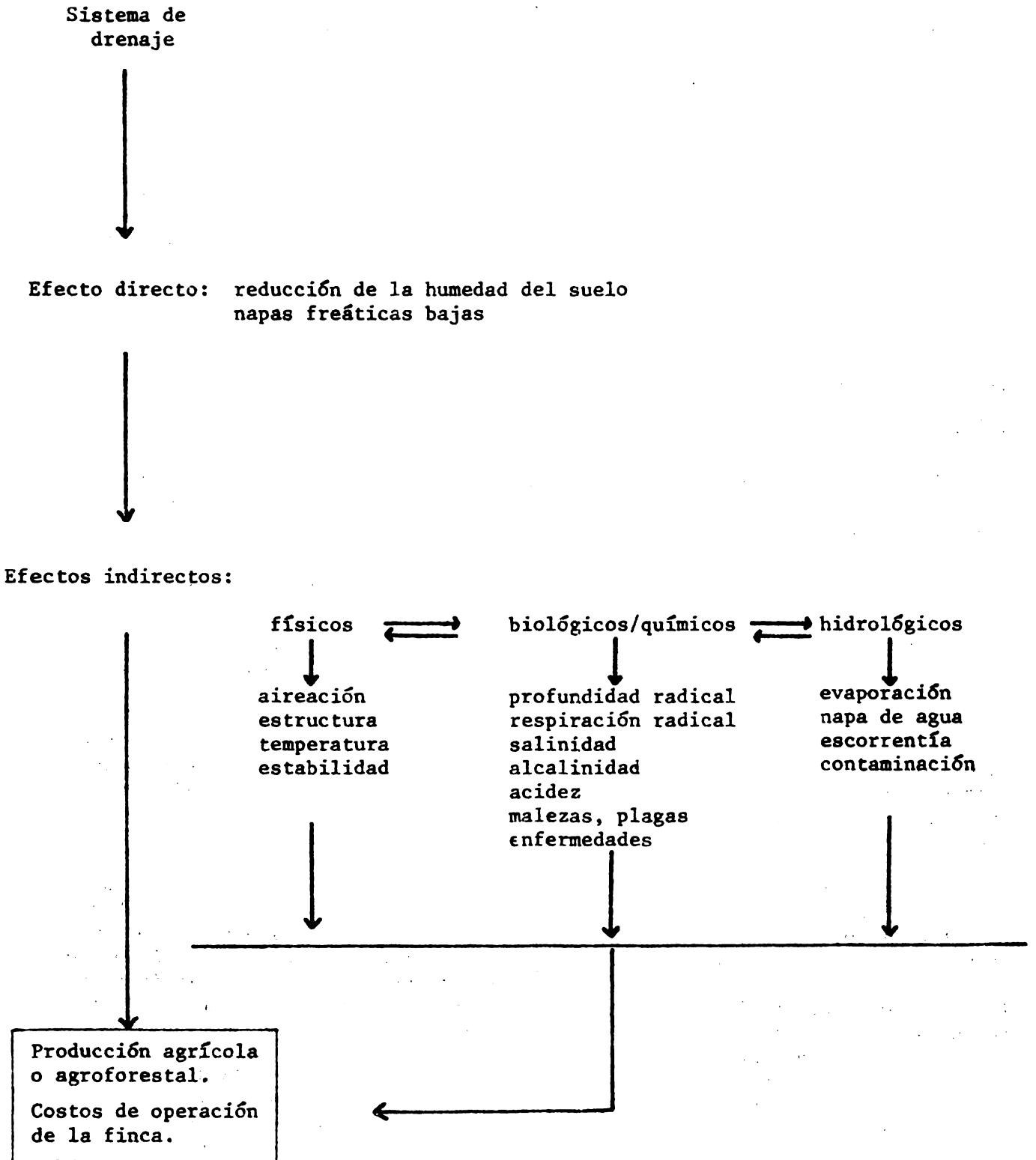


Fig. 4 : Efectos del drenaje sobre el suelo y la planta

sorprendentemente se le da muy poca importancia a la actividad biológica (de macro y microorganismos del suelo), la cual es responsable de un extraordinario movimiento del suelo superior. Este proceso mejora sensiblemente la aeración de los suelos.

Nutrimientos

De los elementos químicos conocidos, 16 se consideran nutritivos para la planta y son indispensables para su crecimiento y normal desarrollo; no pueden ser reemplazados en su función fisiológica por otro elemento diferente. Estos son los siguientes: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl).

Las plantas toman del aire y del agua el carbono, el hidrógeno y el oxígeno. Los 13 elementos restantes se encuentran en los minerales o en la materia orgánica y son absorbidos en forma de iones por las raíces. El cuadro 1 enumera los elementos esenciales y algunas de sus características.

Existe muy poca información específica con respecto a las necesidades nutricionales de especies forestales tropicales. Esto se debe principalmente a la complejidad del problema:

1. Los órganos aéreos y subterráneos de árboles maduros presentan gran tamaño y hacen impracticable la investigación bajo condiciones controladas;
2. La mayoría de los datos sobre requerimientos nutricionales de las especies forestales se basan sobre el análisis de cenizas, lo cual es un índice de lo absorbido por las especies en cierto ambiente pero no refleja necesariamente sus exigencias.

Leaf y Madgwick (1960) concluyen en la necesidad de estudiar básicamente todos los aspectos de la nutrición de las especies forestales pero afirman que quizás, por muchos años más, el medio más eficaz de determinar las deficiencias nutritivas será el ensayo de abonos y fertilizantes. No obstante, el estudio de planta y suelo antes de dichos ensayos, puede ahorrar tiempo y esfuerzo.

Los requerimientos nutricionales de los llamados sistemas multiestrata, es decir, en los cuales se encuentran asociadas plantas de diferente tamaño, han sido todavía menos estudiados. Un caso típico de tal asociación es la combinación de la especie forestal Cordia alliodora (estrato superior) con un árbol de sombra (Erythrina poeppigiana o Inga sp) (estrato medio) y con café (Coffea sp) (estrato inferior) en la región cafetera de Centro y Suramérica. En tales sistemas la recirculación de nutrimentos es más rápida y las demandas por éstos dependen de la competencia interespecífica así como del manejo del cultivo agrícola. En las regiones cafeteras generalmente se "extrae" leña de los cafetales como un importante medio energético; esta "remoción" lleva consigo cantidades significativas de nutrimentos que dejan de ser reincorporados al sistema. Por otra parte, se conoce muy poco o casi nada sobre el aporte de nutrimentos por la hojarasca, la rapidez de descomposición de la materia orgánica y su incorporación al sistema y el estatus de nutrientes del suelo antes y después de la cosecha. Investigaciones en este sentido se han iniciado en el CATIE (Enriquez 1979, Beer y Glover 1979).

Cuadro 1. Elementos esenciales para las plantas (Tomados del suelo)

Ele - mentos	Peso atómico	Concentración frecuen- te en los suelos, con base en la materia se- ca		Forma ionica en la cual son absorbidos	Concentración frecuen- te en las plantas, con base en la materia se - ca	
		o/oo			o/oo	
N	14.0	0.3-3		$\text{NO}_3^-; (\text{NH}_4^+)$	5-50	
P	31.0	0.1-1		$\text{H}_2\text{PO}_4^-; \text{HPO}_4^{2-}$	1-5	
S	32.1	0.1-1		SO_4^{2-}	0.5-5	
K	39.1	2-30		K^+	5-50	
Ca	40.1	2-15		Ca^{2+}	0.5-50	
Mg	24.3	1-10		Mg^{2+}	1-10	
Ele- mentos	Peso atómico	Concentración frecuen- te en los suelos, con base en la materia se- ca		Forma ionica en la cual es absorbida	Concentración frecuen- te en las plantas, con base en la materia se- ca	
		ppm			ppm	
Fe	55.9	5000-40000		$\text{Fe}^{2+}; (\text{Fe-Quelato})$	50-1000	
Mn	54.9	200-40000		$\text{Mn}^{2+}; (\text{Mn-Quelato})$	20-200	
Zn	65.4	10-300		$\text{Zn}^{2+}; (\text{Zn-Quelato})$	10-100	
Cu	63.5	5-100 (Promedio:20)		$\text{Cu}^{2+}; (\text{Cu-Quelato})$	2-20	
Cl	35.5	50-1000		Cl^-	200-10000	
B	10.8	5-100 (Promedio:15)		$\text{H}_2\text{BO}_3^-\text{HBO}_3^{2-}$	2-100	
Mo	95.9	0.5-5		MoO_4^{2-}	0.2-10	

1 o/oo = 0.1%

1 ppm = 0.0001%

Burgos (1977) comenta que en la fertilidad de suelos se identifican variables difíciles de modificar y por lo tanto determinantes para los cultivos en terrenos de pequeños agricultores. La deficiencia de elementos nutritivos es una de estas variables identificadas en el CATIE (textura y toxicidad por elementos químicos son las otras).

Se acepta generalmente que el logro y mantenimiento de niveles altos de producción de cosechas en forma sostenida gira en torno al mantenimiento de la fertilidad del suelo. Esto es igualmente válido para las combinaciones agroforestales. El agricultor tradicional enfrenta este problema de varias formas (Hardwood, R. en Burgos, 1977): 1. uso de fertilizantes comerciales en fincas de alta producción; 2. uso de nutrimentos acumulados fuera de la finca (compost), en zonas donde los fertilizantes comerciales son muy caros o no están disponibles; 3. circulación limitada de nutrimentos entre componentes del mismo sistema. La eficiencia de estos métodos ha sido probada en algunas partes de los trópicos pero debe evaluarse en cada caso antes de su recomendación como un sistema de manejo de la finca. Hardwood (citado por Burgos 1977) informa que la especie forestal Gliricidia maxima es sembrada en surcos y sobre los bordes de los arrozales de inundación en Indonesia. De esta manera el suministro de materia orgánica del sitio está asegurado además del beneficio de Gliricidia como forraje o leña. Ejemplos como éste hay muchos en la literatura. En los cultivos intercalados ("intercropping") se ha probado que la demanda de nutrimentos por las plantas es selectivo y muchas veces ajustada a la disponibilidad de tales nutrimentos en el suelo y en el tiempo. Angulo (1980) estudió en suelos (Typic Distropepts) de Turrialba, Costa Rica, la influencia de diferentes dosis de nitrógeno y potasio en la extracción de nutrimentos por la yuca y el maíz asociados y en monocultivo. Concluyó que el sistema era eficiente con la aplicación de N P K en dosis de 48, 120 y 69 kg/ha respectivamente para una producción de 21 Tm/ha de yuca y 0,98 Tm/ha de granos de maíz. Budowski (comunicación personal) opina que la fijación de Nitrógeno por la especie Erythrina poeppigiana (mencionada anteriormente) utilizada como árbol de sombra en los cafetales, puede aumentar considerablemente después de la poda de sus ramas (2 veces por año) como consecuencia de la muerte de raíces viejas y la proliferación de nuevas raíces finas, cuyos nódulos son responsables de la fijación de N atmosférico por la planta. Esta opinión merece ser investigada en detalle. Los beneficios de esta leguminosa como mejoradora del suelo en los sistemas agroforestales han sido reseñados también por otros autores (Deccaret 1967, Molleapaza 1979).

Lo dicho anteriormente resalta la importancia de la fertilidad del suelo en las combinaciones agroforestales. El manejo de esta fertilidad fue esbozado pero está fuera de los objetivos de estas notas.

Otros factores edáficos

Los factores edáficos que mencionaré a continuación tienen relación directa o indirecta con la humedad, el espacio aéreo y los nutrimentos ya referidos con cierto detalle. Por lo tanto, sólo haré breve alusión a ellos.

Profundidad del suelo. Este factor tiene mayor importancia en el crecimiento de los árboles que en el de cultivos agrícolas. El espacio de crecimiento para

las raíces puede ser una medida indirecta de la humedad disponible en el suelo, fertilidad, aeración y actividad biológica. La profundidad del suelo es particularmente importante en sitios en donde el crecimiento de las raíces se ve limitado por panes duros de arcilla, rocas, horizontes con baja permeabilidad, sales tóxicas u otros factores.

Textura. Esta propiedad física se ha reportado a menudo como el factor más estrechamente relacionado con el suministro de agua y en muchos casos, como un indicador de la aeración del suelo.

Tabla de agua. Los suelos deficientemente drenados están generalmente asociados con napas superficiales. Cuando éstas fluctúan periódicamente en los horizontes superiores, afectan el desarrollo de las raíces, la humedad disponible, la disponibilidad de nutrimentos y el drenaje.

pH. Este parámetro edáfico se utiliza mucho en los diagnósticos de la química del suelo y en la práctica es un indicador de las dosis de cal que deben agregarse para "mejorar" el nivel del calcio (corrección del pH) dependiendo del tipo de suelo. Sin embargo, se ha hecho poco uso de este factor como indicador de sitio. Aunque su expresión es tan sencilla influye en casi todas las demás propiedades químicas del suelo y a partir de él se pueden derivar conclusiones sobre el manejo del mismo.

EL MANEJO DE LOS FACTORES EDAFICOS

Indicadores edáficos

En la fertilidad de suelos se necesita una evaluación cuidadosa del estado de nutrimentos del suelo para programar una aplicación correcta de los fertilizantes necesarios para los requerimientos de las plantas o utilizar otra fuente de nutrimentos adecuada (mulch, abonadura verde, encalado, etc.). Los factores físicos del suelo juegan también un papel importante en su evaluación como sitio para plantas. Un valor de prueba de suelo ("soil-test value") per se es una cifra empírica que tiene poco significado a menos que se relacione con rendimiento de cosechas o con variables de respuesta. Es sorprendente que se haya trabajado por muchos años con la química del suelo y existan realmente tan pocos "indicadores edáficos". El método del elemento faltante basado en la ley del mínimo de Justus von Liebig ha sido utilizado con éxito en la agricultura y tal vez podría probarse su efectividad en los sistemas agroforestales. Existen tan pocos parámetros edáficos realmente indicadores del estado del suelo, que deberíamos agotar su "fuerza de predicción" en el comportamiento de cultivos agrícolas o forestales, solos o combinados. Algunos de estos parámetros son los siguientes: pF (mencionado anteriormente), basado en las relaciones cantidad (Q)/Intensidad (I); pH, relaciones Carbono/Nitrógeno, Carbono/Fósforo, Índice de Textura de Hardy, Índice de Aeración, potenciales de Schofield. Para los nutrimentos, Singh (1979) describe cómo podrían construirse índices de "disponibilidad" para N, P, Ca, Mg y micronutrientes dependiendo de los métodos de laboratorio utilizados.

Las relaciones Q/I para nutrimentos son comparables a la curva de retención de humedad (curva de pF). La cantidad (Q) aquí está dada por la reserva de nutrimentos y la intensidad (I) por su contenido energético. Estas relaciones permiten

hacer las siguientes deducciones: 1. estimar la magnitud de la reserva de nutrientes disponibles para la planta utilizando el conocimiento de valores potenciales críticos como por ejemplo el punto de marchitamiento permanente; 2. detectar los efectos del aumento de nutrimentos (p.e. fertilización) sobre los potenciales de Schofield.

Para los nutrimentos del suelo la relación Q/I representa un análisis momentáneo. El significado ecológico de tal análisis radica en la posibilidad de comparación, en primer lugar, del estado de fertilidad de diferentes suelos por medio de una correlación simultánea con el crecimiento o el rendimiento de árboles o cultivos y en segundo lugar, comparación del estado de fertilidad del mismo suelo después de la influencia de un factor cualquiera (p.e. inclusión de árboles en cultivos anuales o perennes, arreglos espaciales y cronológicos de cultivos). La primera posibilidad conduce a la evaluación de diferentes estados del suelo relacionados con la producción; la segunda posibilidad permite vistazos en las relaciones recíprocas entre suelo y planta.

Las relaciones C/N y C/Porg permiten deducir el estado del metabolismo orgánico del suelo en general e indirectamente el tipo de humus. Valores C/N mayores de 20 y C/Porg mayores de 600 revelan formas desfavorables de humus. Esto significa una descomposición de la materia orgánica más lenta y por consiguiente menor disponibilidad de nitrógeno asimilable para las plantas. El metabolismo de la materia orgánica y sus relaciones con el clima, el suelo y la vegetación es parte de los textos de química de suelos y no necesitan tratarse aquí en detalle.

El índice de textura fue utilizado por Burgos y Meneses (1979) como un indicador del rendimiento de cultivos asociados en seis sitios experimentales en la zona atlántica de Costa Rica y demostró tener gran influencia en los rendimientos de Caupí (Vigna unguiculata) durante períodos de alta precipitación.

Las consideraciones hechas sobre ciertos indicadores edáficos ponen en evidencia la ventaja de trabajar con ellos en lugar de utilizar datos aislados. Tal ventaja se refleja en poder comparar suelos y ambientes diferentes o similares y llegar a elaborar "modelos de predicción" extrapolables. Esto es particularmente importante en los agroecosistemas en donde el crecimiento de algunos cultivos puede durar mucho tiempo. Por ahora, parece que tendremos que continuar trabajando con los métodos de ensayo y error cuyo éxito depende fundamentalmente de la experiencia del investigador y del valioso aporte empírico del agricultor.

REFERENCIAS

- ANGULO, R. 1980. Fertilización con nitrógeno y potasio de la asociación yuca y maíz en un inceptisol de Turrialba. Tesis Ms.C. UCR-CATIE. 159 p.
- BARROS, NAIRAM, F. DE. 1980. Some considerations on soil-site relations in the neotropics. s.n.t. 13 p. (presentado en el Simposio Producción de madera por medio de plantaciones en los neotrópicos. Río Piedras, Puerto Rico, IUFRO. Septiembre 1980).

- BEER, J. y GLOVER, N. 1979. Culture of Cordia alliodora with perennial crops. Experiment No. 143 (79-1G) CATIE-UNU A.2 4. Establishment report. 15 p. (mimeo)
- BURGOS, C.F. 1977. Importancia de la investigación en fertilidad de suelos como componente de los estudios en sistemas integrados de producción agrícola. Conferencia presentada en el 2° seminario sobre evaluación de fertilidad de suelos. Turrialba, CATIE. Agosto 1977. 7 p. (mimeo).
- BURGOS, C.F. y R. MENESES. 1979. Performance of cropping patterns across a soil texture gradient in Costa Rica. Trabajo presentado en the American Society of Agronomy meeting. Fort Collins, Colorado. 1979. 25 p. (mimeo).
- _____. 1979. El subsistema de suelo. In: Hart, R.: Agroecosistemas, conceptos básicos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 99-111 pp.
- DECCARET, D.M. 1967. La influencia de los árboles leguminosos y no leguminosos sobre el forraje que crece sobre ellos. Tesis Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA. 34 p.
- ENRIQUEZ, G. 1979. Ensayo central de cultivos perennes en comparación con algunos anuales. In : Taller sistemas agroforestales en América Latina. Turrialba, 1979. Actas. editado por G. De las Salas. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 1979. 199-202 pp.
- FASSBENDER, H.W. et. al. 1977. Estudios edafológicos en las plantaciones de Pinus caribaea en el Oriente de Venezuela. I; requerimientos hidrológicos. s.n.t. 11+ 6 p. (mimeo).
- FOELSTER, H. y FASSBENDER, H.W. 1977. Untersuchungen über Bodenstandorte der humiden Bergwälder in der nordlichen Andenkordillere (Research on Pedology and ecology of humid mountain areas of the northern Andes). s.n.t. 10 p. Presentado en la Conferencia Land Use in the humid regions of the tropics, Göttingen, Octubre 1977).
- FORSYTHE, W. 1970. Las propiedades y condiciones físicas del suelo; la producción y el manejo. s.n.t. 12 p. mimeografiado.
- GIRALDO, L.G. et al. 1980. El crecimiento del nogal (Cordia alliodora Ruiz & Pavon) Oken en relación con algunos factores climáticos, edáficos y fisiográficos en el suroeste de Antioquía. s.n.t. 13 p. (presentado en el Simposio Producción de madera por medio de plantaciones en los neotrópicos. Río Piedras, Puerto Rico, IUFRO. Septiembre 1980).
- HARDY, F. 1970. Edafología tropical. Trad. del inglés por Rufo Bazán. México, D. F, Herrero Hnos. 416 p.
- HART, R.D. 1979. Agroecosistemas; conceptos básicos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 211 p.

- LEAF, A.L. y MADGWICK, H.A. 1960. Evaluation of chemical analysis of soils and plants as aids in intensive soil management. In: V World Forestry Congress. Seattle, Washington 1960. Proceedings. University of Washington. 554-557 p.
- MOLLEAPAZA, A.J.E. 1979. Producción de biomasa de poró (Erythrina poeppigiana O. F. Cook) y de laurel (Cordia alliodora Ruiz & Pav.) Oken asociados con café. 74 p. (manuscrito no publicado).
- OOSTERBAN, R.J. 1978. A review of the international drainage workshop held at Wageningen. In: International Institute for Land Reclamation and Improvement. Annual report 1978, 6-18 pp.
- RICO N. MIGUEL A. 1979. Efectos de la canícula interestival prolongada en los cultivos. s.n.t. 18 p. (mimeografiado).
- SINGH, B.R. 1979. Nutrient availability indices and optimum nutrient element levels in soils for crops under agroforestry conditions. In: Mongi, H.O. y Huxley, P.A., eds. Soils research in agroforestry; proceedings of an expert consultation, Nairobi, March 1979. Nairobi, ICRAF, 1979. 439-470 pp.
- SMITH, G.W. 1966. The relation between rainfall, soil water and yield of copra on a coconut estate in Trinidad. J. of appl. Ecology 3:117-125.
- TAYLOR, S.A. 1952. Use of the mean soil moisture tension to evaluate the effect of soil moisture on crop yields. Soil Science 74:217-226.
- VINCENT, L.W. 1978. Site classification for young caribbean Pine (Pinus caribaea var. hondurensis) in Grasslands Venezuela. Thesis Ph.D. Knoxville, University of Tennessee. 149 p.