



CONFERENCIAS

SVCS

BIBLIOTECA CENIAP.

PUBLICACION DIVULGATIVA No. 10

EDITORIAL

En este Boletín Divulgativo, se recogen las intervenciones del Dr. Hans W. Fassbender, durante las conferencias auspiciadas por el Ministerio de Agricultura y Cría, Programa Nacional de Suelos, Oficina de Comunicaciones Agrícolas de la - Dirección de Investigación del MAC, y Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo.

El Dr. Hans W. Fassbender, es profesional de la Ingeniería Agronómica, graduado en la Universidad Agraria de La Molina, Perú, y actualmente profesor e investigador del Instituto de Suelos y Nutrición Forestal de la Universidad de Gottingen, Alemania.

Visitó a Venezuela, como Asesor del Programa Integral de Desarrollo Agrícola (PRIDA) para el Programa Nacional de Investigación en Suelos del M.A.C.

El ciclo de conferencias programada versó sobre los siguientes temas:

- 1.- Investigación de las formas y fijación del fósforo y las relaciones suelo-planta.
- 2.- Efecto del encalado en el intercambio catiónico y la producción del suelo.
- 3.- Aspectos eco-pedológicos de la transformación de ecosistemas forestales en sistemas de producción agrícola.

Un texto resumen de lo expuesto en las mismas, aparece recopilado en el presente Boletín de la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo.

INVESTIGACION DE LAS FORMAS Y FIJACION DEL FOSFORO Y LAS RELACIONES SUELO-PLANTA *

H. W. Fassbender **

Los fosfatos del suelo se pueden dividir en dos grandes grupos: inorgánicos y orgánicos. La participación del P-orgánico en el P-total varía generalmente entre 25 y 75 por ciento. En casos extremos se han publicado valores de 3 y 85 por ciento. Entre los fosfatos inorgánicos se diferencian formas químicamente bien definidas y cristalinas, fosfatos amorfos, fosfatos adsorbidos al complejo coloidal y presentes en la solución del suelo. Entre los primeros se encuentran fosfatos calcicos (mono- di y octacalcico y apatitas), aluminicos y ferricos.

En el analisis de las diferentes fracciones de fosfatos inorgánicos se pueden utilizar dos tecnicas: fraccionamiento con extractores especificos (Chang y Jackson) y la determinación de las actividades iónicas en la solución del suelo para compararla con la de los compuestos puros que ocurren en el suelo.

Fraccionamiento segun Chang y Jackson

Este metodo, publicado originalmente en 1957, esta basado en la extracción sucesiva de:

Fosfatos adsorbidos y altamente solubles	con NH_4Cl	IN
Fosfatos aluminicos	con NH_4F	0.5N, pH 7.0
Fosfatos ferricos	con NaOH	IN
Fosfatos calcicos	con H_2SO_4	0.5N

Fosfatos solubles en reductante con sodio 0.3N y ditionito de sodio y fosfatos ocluidos con NaOH y H_2SO_4 según su oclusión en hidroxidos de Fe o Al.

* Conferencia dictada el 24 de abril de 1974 y auspiciada por el Programa Nacional de Suelos, Oficina de Comunicaciones Agrícolas del M. A. C. y Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo

** Asesor del Programa Nacional de Suelos, dentro del Programa Integral de Desarrollo Agrícola (PRIDA)

En la literatura disponible de América Latina se han encontrado cerca de 400 fraccionamientos de fosfatos en suelos del subcontinente. Algunos de los resultados están sumarizados en el cuadro 1. Los fosfatos de calcio se destacan en suelos neutros o ligeramente ácidos; los de hierro y aluminio en suelos ácidos, para algunos suelos de Centroamérica se encontraron relaciones estadísticas significativas (figuras 1 y 2); los fosfatos ocluidos predominan en casi todos los suelos estudiados, estos fosfatos presentan una solubilidad muy pequeña y una disponibilidad muy escasa para las plantas.

Se han encontrado que la distribución de fosfatos depende del proceso de meteorización de los suelos. En suelos recientes predominan los fosfatos cálcicos, en suelos medianamente desarrollados se presentan proporciones balanceadas y en los suelos maduros mas bien predominan los ocluidos. En la figura 3 se observan los resultados para una cronosecuencia en Honduras.

Uso de Actividades Iónicas.

Otro método usado actualmente para identificar los fosfatos inorgánicos del suelo consiste en comparar las actividades iónicas con las de fosfatos puros. Estos criterios están basados en leyes físico-químicas y de la acción de las masas y los productos de solubilidad de los fosfatos que ocurren en el suelo.

Para identificar los fosfatos se han derivado los parámetros del potencial del fosfato monocálcico ($\text{pH}_2\text{PO}_4 + 0.5\text{pCa}$) y del potencial cálcico ($\text{pH} - 0.5\text{pCa}$) y se han establecido las relaciones para los diferentes fosfatos del suelo.

En un diagrama de solubilidad de fosfatos que incluyen los fosfatos cálcicos, férricos y aluminicos desarrollados por Ulrich y Khanna se consideran el potencial fosfórico ($\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4$) y los potenciales cálcico y aluminico ($\text{pH} - 0.5\text{pCa}$ y $\text{pH} - 0.33\text{pAl}$). Para los diferentes fosfatos del suelo resuelven:

$$\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4 = 2(\text{pH} - 0.5 \text{pCa}) - 0.53 \text{ para fosfato dicálcico}$$

$$\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4 = 8/3 (\text{pH} - 0.5 \text{pCa}) - 3.26 \text{ para fosfato octacálcico}$$

$$\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4 = 10/3 (\text{pH} - 0.5 \text{pCa}) - 4.73 \text{ para apatito hidroxidado}$$

$pH + pH_2PO_4 = 3(pH - 0.33 pAl) + 2.5$ para fosfato aluminico

$pH + pH_2PO_4 = 3(pH - 0.33 pAl) + 0.5$ para fosfato aluminico amorfo

La transición del $pH - 0.5 pCa$ a $pH-0.33 pAl$ en el diagrama, se logra en base a la correlación encontrada entre estos dos parámetros.

En trabajos recientes (Fassbender et.al., 1969) se han aplicado estas técnicas de identificación de fosfatos para suelos de América Central y del Brasil. En la figura 4 se observan tres grupos de suelos bien definidos. Bajo condiciones de $pH - 0.5 pCa > 74.5$ se localizan suelos cuyos fosfatos presentan una solubilidad ordenable a la de la apatita hidroxidada. Bajo condiciones de $pH - 0.33 pAl < 3.9$ los suelos presentan un metabolismo de fosfatos de aluminio amorfo. Entre ambos grupos se encuentran los suelos de fosfatos mezclados. En la figura 5 los resultados de suelos de Amazonia de Brasil indican una predominancia de fosfatos aluminicos.

Interpretación de las Relaciones Suelo - Planta.

Además de permitir la identificación de los fosfatos en el suelo, el potencial de fosfatos describe a los iones fosfato en la solución equilibrada del suelo y las relaciones suelo-planta. Se ha llegado a buenas correlaciones entre el parámetro de intensidad del potencial químico del fosfato monocálcico y la nutrición fosfatada de las plantas en suelos de climas templados, así también como en condiciones de climas tropicales.

El potencial de fosfatos describe una situación momentánea en el estado cambiante, dinámica del P del suelo. Las diferentes reacciones y transformaciones de los fosfatos nativos y los aplicados como fertilizantes afectan constantemente el nivel de P en la solución equilibrada del suelo. Es de especial interés el estudiar la capacidad del suelo de reponer los iones H_2PO_4 en la solución del suelo.

En la figura 6 se presenta un modelo simplificado de las relaciones suelo-planta confeccionado inicialmente para suelos derivados de cenizas volcánicas en América - Central (Fassbender y Molina, 1969). Las plantas absorben los iones H_2PO_4 directamente de la solución del suelo, la disponibilidad de P es característica en ese medio

por el potencial de los fosfatos cálcicos ($p\text{H}_2\text{PC}_4 + 0,5 \text{ pCa}$) presentando una buena asociación matemática; el coeficiente de correlación entre ambas variables es altamente significativa ($r = -0,677^{++}$). Dadas las pequeñas concentraciones de H_2PO_4^- en la solución del suelo y su rápida absorción por las plantas, se tiene en $p\text{H}_2\text{PO}_4 + 0,5 \text{ pCa}$ un parámetro de intensidad, una medida de la situación acambiante de P en el suelo. Del proceso de la absorción de P por las plantas resulta también la necesidad de reponer continuamente H_2PC_4^- en la solución del suelo. Ello ocurre de acuerdo a la solubilidad y cantidades de diferentes fosfatos presentes en la fase sólida del suelo. La caracterización de las fuentes de reserva o "capacidad" puede hacerse con los métodos de análisis de fosfatos orgánicos e inorgánicos y sus fracciones comentadas anteriormente. Como se observa en la figura, al establecer las asociaciones matemáticas entre las formas de P y $p\text{H}_2\text{PC}_4 + 0,5 \text{ pCa}$ se encontró el mayor coeficiente de correlación con los fosfatos cálcicos ($r = -0,891^{++}$). Ya que las otras formas presentaron asociaciones mucho menores se puede concluir que la reposición de fosfatos en la solución de los suelos estudiados proviene principalmente de la fracción cálcica. La evaluación de los fosfatos orgánicos como fuente de reposición no fue incluida en este estudio: como se verá más adelante a través del proceso de mineralización de la materia orgánica se puede producir una alta liberación de P en la solución del suelo que es de gran importancia en la nutrición vegetal.

Actualmente se están orientando los estudios de la capacidad o intensidad de tal manera de analizar estos parámetros en el transcurso del período vegetativo de plantas experimentales o incluyendo esta variable en la interpretación de los resultados.

La tasa de utilización de los fertilizantes fosfatados es bastante baja, para muchos cultivos y suelos tropicales no alcanza al 5 por ciento. Los suelos presentan generalmente, asociado con un bajo pH grandes cantidades de hidróxidos de Al y Fe, y por consiguiente Al^{3+} Fe^{3+} en la solución del suelo gran cantidad de cargas electropositivas, y con ello una alta capacidad de retención de P. En los procesos de retención o fijación del fósforo contribuyen dos procesos: la adsorción en las superficies de los coloides y la precipitación de fosfatos insolubles.

La absorción de aniones se ha evaluado utilizando isoterma de adsorción desarrolladas para describir la sorción de gases a superficies sólidas. Algunos autores utilizan la isoterma de Freundlich y otros la de Langmuir.

En algunos trabajos realizados se trató de evaluar la importancia de la adsorción en la fijación de fosfatos en suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del IICA, Turrialba, Costa Rica (fig. 7). La adsorción en suelos aluviales (El Banco) es más pequeña que para los andosoles (Cervantes) y Latosoles (Colorado). El uso de la isoterma de Langmuir no permite, sin embargo, una evaluación total de los fenómenos de retención de fosfatos. Como se observa en el cuadro 1, la adsorción aumenta con el tiempo de contacto y a pesar de 188 horas de agitación todavía se produce un aumento notable de la retención de P. No es fácilmente explicable que a pesar de los largos tiempos de reacción no se haya producido una saturación del complejo adsorbente. Además la capacidad máxima de adsorción calculada no coincide con la retención real de fosfatos. Igualmente la desorción real y calculada de los fosfatos retenidos no equivale a la fijación. Al producirse la adsorción ocurren también reacciones de precipitación de fosfatos de aluminio, hierro y calcio, que en algunos suelos resultan predominantes.

Para conocer mejor el proceso de fijación se desarrolló un nuevo método radiométrico basado en ofrecer al suelo una solución de 100 ppm ^{32}P , después de 6 horas de agitación se diferencia el coeficiente de fijación y las formas se diferencian utilizando los extractores específicos recomendados para las diferentes fracciones de fosfatos inorgánicos según el método de Chang y Jackson (1957). A manera de ejemplo se presentan los resultados encontrados en algunos suelos de la Amazonia de Brasil (Cuadro 2). Los valores indican que la precipitación de fosfatos de Al, Fe y Ca es más importante que la adsorción que equivale a la fracción de fosfatos solubles en NH_4Cl . La precipitación de fosfatos de hierro predomina y tiene más importancia que la formación de otros fosfatos.

La importancia agronómica de la retención de P y sus formas químicas la demostraron Ponomiszka y Fassbender en un estudio con fertilizantes radioactivos. La respuesta a los fertilizantes disminuyó al aumentar la capacidad de fijación de P y está directamente ligada a la retención superficial de P en formas solubles d

NH_4Cl . La respuesta de las plantas no correlaciona con la retención en forma aluminica ya que esos fosfatos presentan una menor solubilidad y por consecuencia una menor disponibilidad para las plantas.

En estudios para un número más grande de suelos, se utilizó el mismo método pero no radiométrico, encontrándose que la capacidad de fijación de P correlaciona significativamente con el contenido en materia orgánica, hidróxidos libres de aluminio y hierro y arcilla de los suelos (Cuadro 3). Los factores más importantes son el pH (ver figura 3) y el contenido de hidróxidos libres de Fe y la materia orgánica.

En la figura 3 se presenta la distribución de algunos suelos estudiados de América Central en función de su retención de P. La mayor parte de los suelos retienen entre 25 y 35 por ciento del P ofrecido.

Un estudio en términos agronómicos, relacionado a las condiciones de producción, implica experimentos biológicos bien sea en macetas o en parcelas de campo. En la figura 4 se han representado gráficamente resultados de la transformación de la roca fosfatada de Land Pebble (USA), del superfosfato triple en un suelo de Costa Rica; en el estudio se aplicaron en macetas conteniendo un suelo ácido (pH 3.8, 22.5% R_2C_3) dosis crecientes de P (entre 0 y 700 mg/Kg suelo), se sembraron plantas indicadoras de tomate y después de la cosecha (8 semanas) se tomó una muestra del suelo en la cual se determinaron las diferentes formas inorgánicas y por diferencia con las muestras del suelo sin fertilización se determinó la transformación porcentual del P aplicado en fosfatos de Al, Fe y Ca. La roca fosfatada que tiene una baja solubilidad y velocidad de disolución permaneció en un 42 por ciento en su forma original pero llevó a sólo pequeños aumentos de las cosechas. El fosfato monocálcico del superfosfato triple se disolvió rápidamente y después de la cosecha había sido transformado en un 96 por ciento a fosfatos de Al y Fe, sin embargo, las plantas lograron utilizar en parte el fósforo en su mayor disponibilidad logrando mejores cosechas que la roca fosfatada (Fassbender 1969).

La transformación de los fosfatos también ha sido estudiada bajo condiciones de campo; en un cacaotal se aplicó por 9 años consecutivos superfosfato triple al voleo en combinación con fertilizantes nitrogenados y potásicos sin ningún efecto sobre las cosechas. En nuestras compuestas de los diferentes tratamientos se estudiaron las formas de los fosfatos y se hizo un balance. Los resultados están presentados en el cuadro 4. Se observa que el P se acumuló especialmente en los primeros 7.5 cm del suelo y que hubo una transformación muy intensa a fosfatos de aluminio y hierro. Inclusive se encontró un balance negativo de los fosfatos cálcicos, indicando que los fosfatos cálcicos nativos fueron transformados en parte durante ese lapso a fosfatos de Fe y Al.

Las medidas de control de la fijación de P se basan en una disminución de la velocidad de disolución para tener una liberación continua y persistente de P del fertilizante y una alta concentración a largo plazo en la "zona del fertilizante", para que la planta aproveche el P aplicado en forma óptima; así resultan de gran importancia la elección del fertilizante a usarse, la dosis, tamaño de partículas y forma y época de aplicación.

El fertilizante óptimo y su dosis deben estudiarse para las condiciones específicas de un determinado suelo (pH, contenido y disponibilidades del P nativo, - contenido en materia orgánica, carbonatos, sesquióxidos libres, etc.), cultivo (sistema radicular, duración del cultivo, etc.) y el sistema de explotación (rotaciones de cultivos, laboreo del suelo, etc.).

Cuadro I Contenido y formas de P en suelos de América Latina.

Autor	País, región	NO de muestras		AL-P		Fe-P		Ca-P		Colum. org. del suelo		% org. del suelo P
		7	11	18	175	61	75	61	75	61	75	
García	México											
Dobnik, et al.	El Salvador	17	25	47	75	61	75	61	75	61	75	12
Chevroll	Costa Rica	16	218	175	51	167	-	-	-	-	-	-
Faasbender, et al.	América Central (Ca-P pred.)	80	58	40	161	251	370	251	370	251	370	41
	(Al, Fe-P pred.)	30	104	120	50	214	752	214	752	214	752	52
Faasbender	América Central (con. volc.)	34	92	55	126	274	495	274	495	274	495	43
Tofar, Blasco	Colombia, Vallecaumar	11	27	49	67	151	116	151	116	151	116	27
Bastides, Blasco	Colombia, Putresyo	45	226	189	40	431	379	431	379	431	379	30
Blasco	Colombia, Mariño, Altiplano Medio		1442	155	138	853	123	853	123	853	123	8
			534	57	48	301	74	301	74	301	74	
Blasco, Echeverría	Colombia, Cauca	11	32	54	36	44	120	44	120	44	120	20
Vestin, Brito	Venezuela	23	24	28	48	-	80	-	80	-	80	39
Pacheco, et al.	Brazil, Maranhao	8	17	21	15	307	457	307	457	307	457	73
Cabala, Faasbender	Brazil, Bahia	6	11	42	31	200	432	200	432	200	432	61
Vieira, Borchert	Brazil, Amazona, Matozoz	7	53	37	10	-	147	-	147	-	147	49
	No latosa	5	28	00	12	-	205	-	205	-	205	39
Conzatti, Dolfini	Argentina, Buenos Aires	3	10	19	49	3	302	3	302	3	302	47
Abad, Jasso	Bartolao	6	105	120	415	328	-	328	-	328	-	-

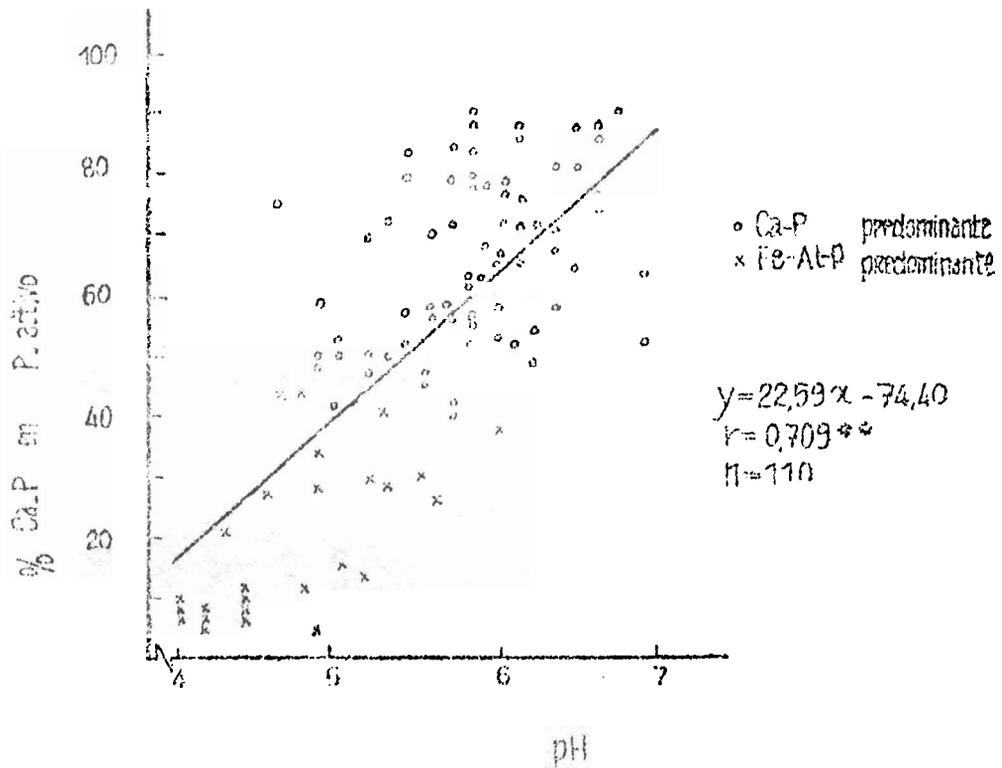


FIGURA 1. CORRELACION ENTRE EL pH Y LOS FOSFATOS CALCICOS (SEGUN FASSBENDER et. al. 1968)

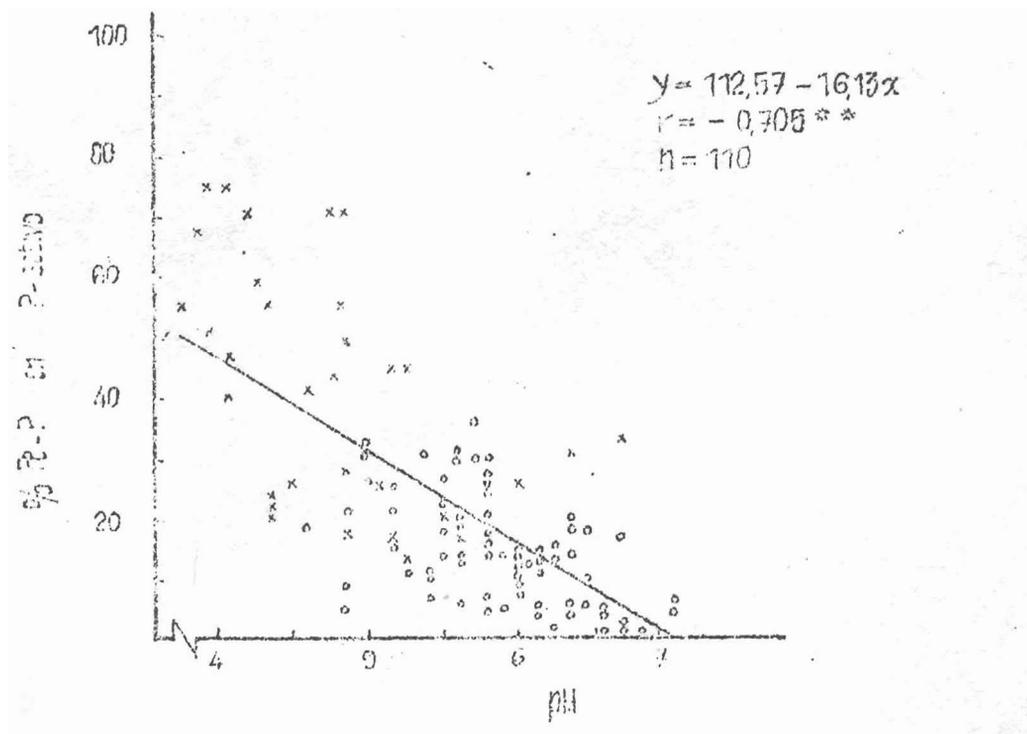


FIGURA 2. CORRELACION ENTRE EL pH Y LOS FOSFATOS FERRICOS (SEGUN FASSBENDER et. al. , 1968)

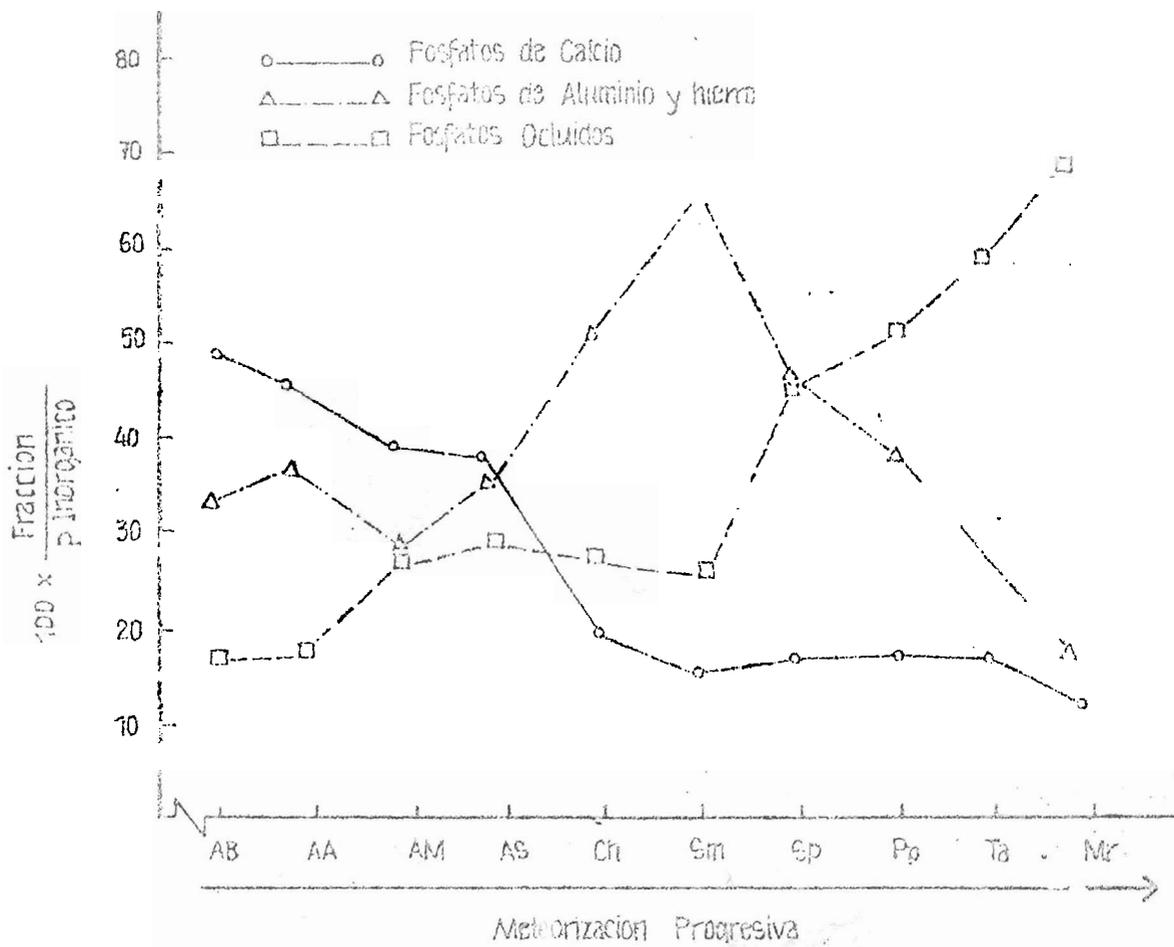


FIGURA 3. EVALUACION DE LOS FOSFATOS INORGANICOS EN FUNCION DE LA EVOLUCION EN UNA CRONOSECUENCIA DE SUELOS DE HONDURAS (SEGUN MORILLO Y FASSBENDER 1968)

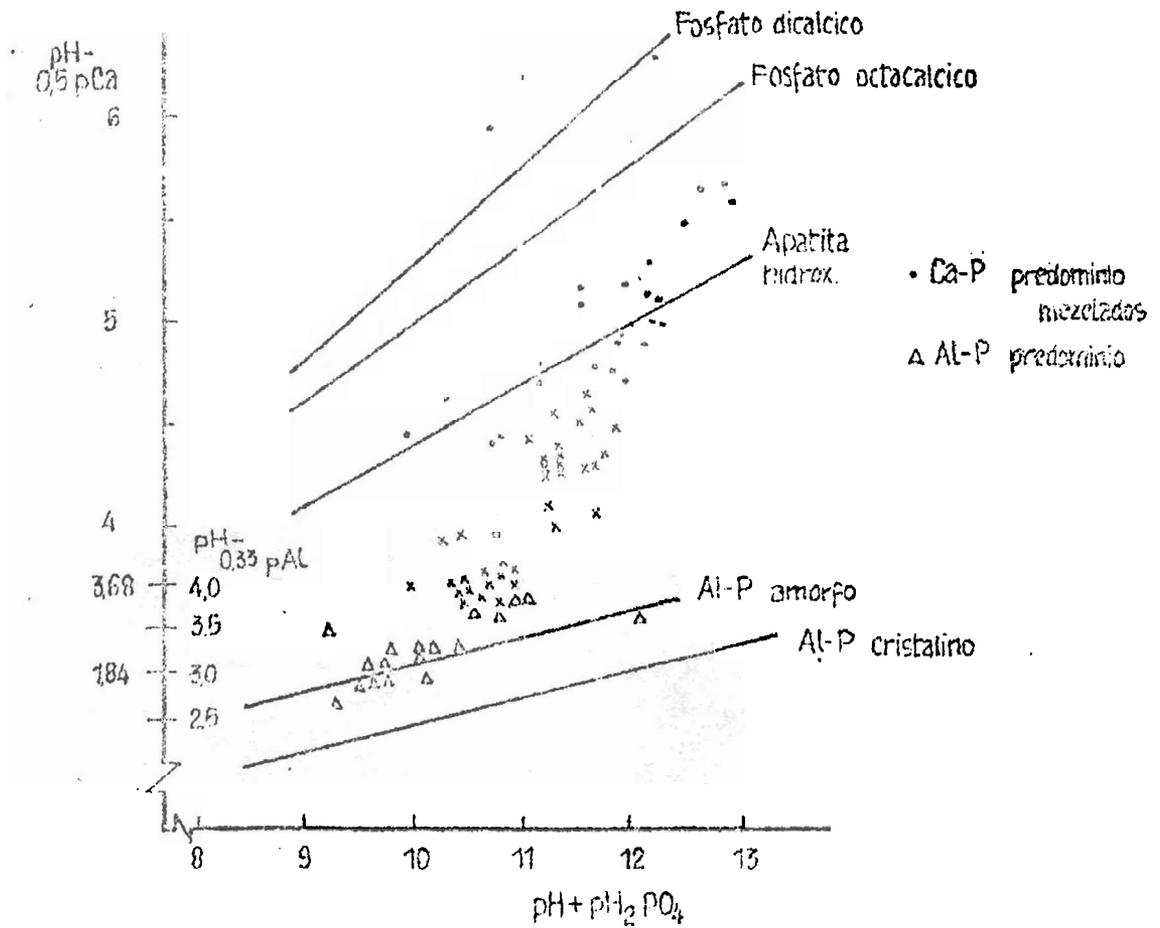


FIGURA 4. IDENTIFICACION DE LOS FOSFATOS INORGANICOS UTILIZANDO SUS ISOTERMAS DE SOLUBILIDAD EN SUELOS DE AMERICA CENTRAL (SEGUN FASSBENDER et. al., 1970)

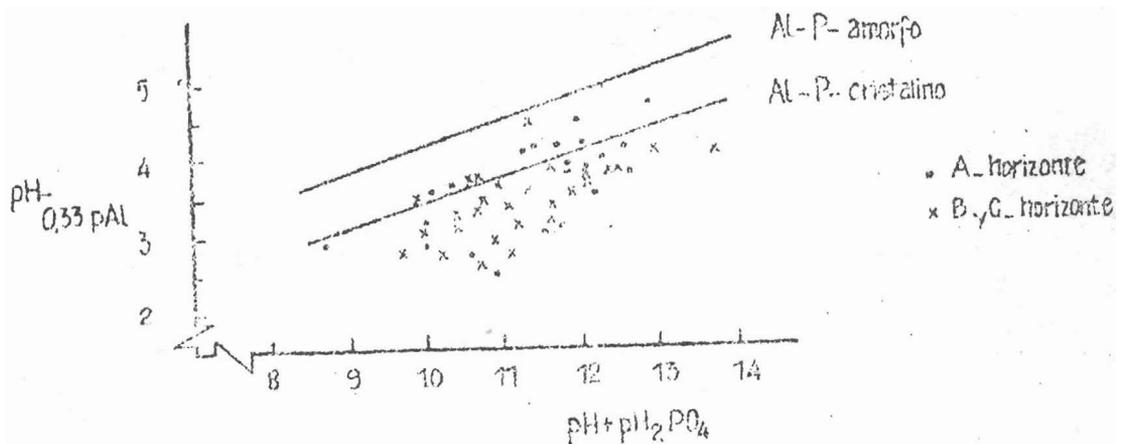


FIGURA 5. IDENTIFICACION DE LOS FOSFATOS INORGANICOS DE ALGUNOS SUELOS DEL BRAZIL (SEGUN FASSBENDER, sin publicarse)

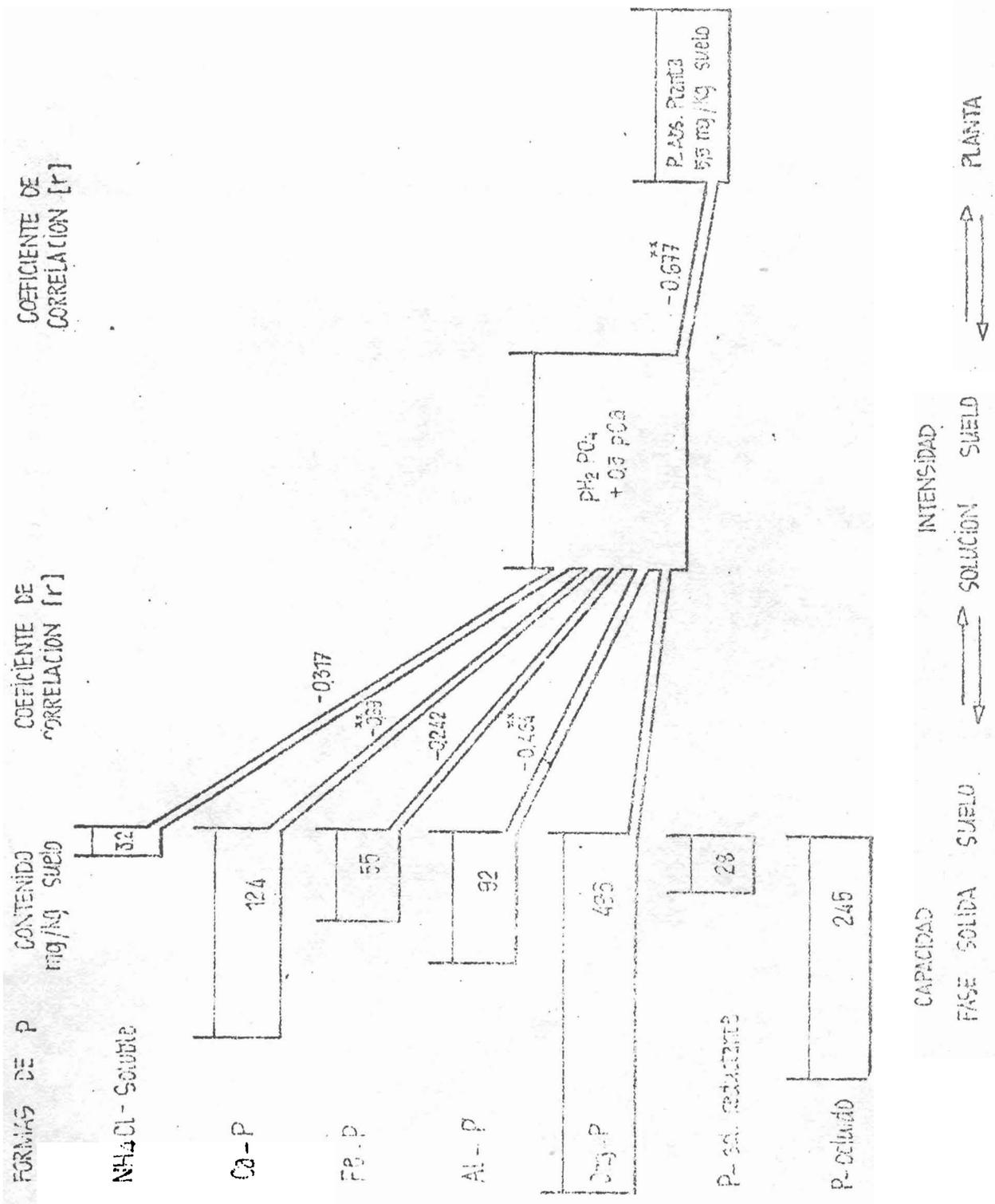


FIGURA 6. REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL SISTEMA SUELO-PLANTA EN SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS (SEGUN FASSBENDER Y MOLINA 1969)

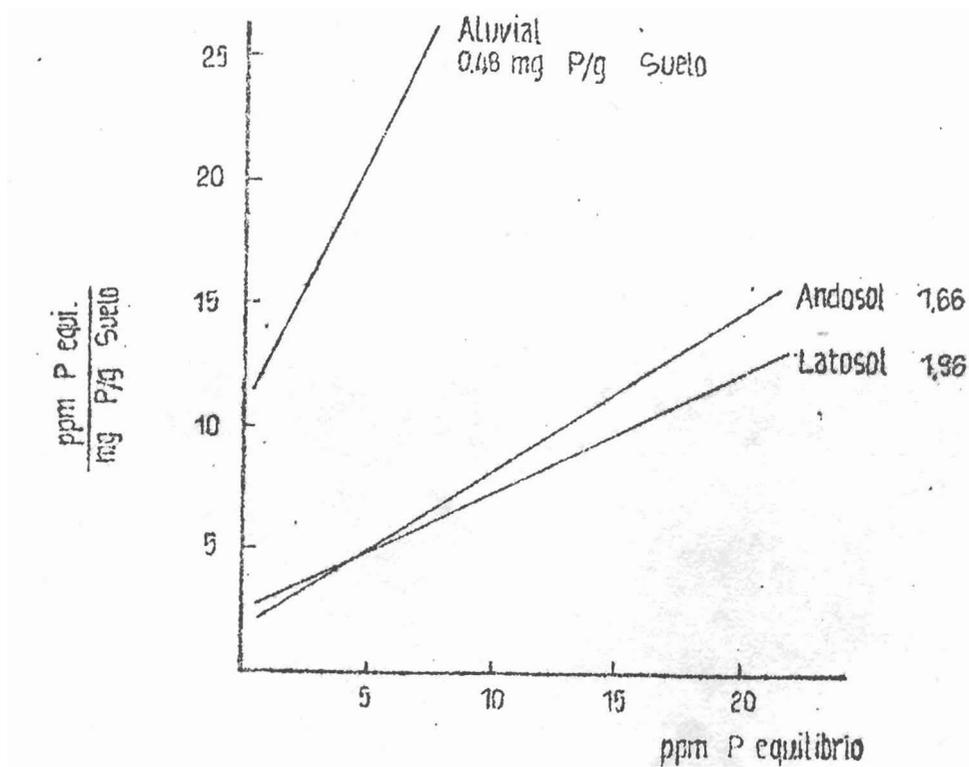


FIGURA 7. ADSORCIÓN DE FOSFATOS EN TRES SUELOS DE COSTA RICA EVALUADA CON LA ISOTERMA DE LANGMUIR (Según FASSBENDER, 1966)

EFFECTO DEL ENCALADO EN EL INTERCAMBIO CATIONICO Y LA PRODUCCION DEL SUELO *

H. W. Fassbender **

El encalado es una práctica agrícola que se utiliza desde tiempos remotos para mejorar la productividad de los suelos ácidos; su uso es muy común en suelos de zonas templadas pero los resultados obtenidos en suelos de regiones tropicales son muy contradictorios (ver Martini, Bornemisza, Laroche). En la mayor parte de los casos se han obtenido depresiones de las cosechas y han resultado deficiencias nutritivas, especialmente de elementos menores que han agravado la situación y han llevado a un uso muy crítico de materiales de enmienda en los trópicos.

Entre los efectos favorables de encalado se cuentan:

1) Efecto sobre propiedades físicas:

- a) Mejor agregación de partículas y estructura
- b) Mejores condiciones de aireación y movimiento de agua

2) Efecto sobre propiedades químicas:

- a) Aumento de iones OH y disminución de iones H en la solución del suelo
- b) Disminución de la toxicidad de Al, Mn y Fe
- c) Regulación de la disponibilidad de P y Mo
- d) Aumento de la disponibilidad de Ca y Mg
- e) Aumento del porcentaje de saturación

3) Efectos biológicos:

- a) Mejora de las condiciones de desarrollo de microorganismos, especialmente bacterias
- b) Aumento de la mineralización de la materia orgánica

* Conferencia dictada el 23 de abril de 1974 y auspiciada por el Programa de Suelos del CENIAP, la Oficina de Comunicaciones Agrícolas del MAC, y la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo.

** Asesor del Programa Nacional de Suelos dentro del Programa Integral de Desarrollo Agrícola (PRIDA)

c) Mejora de los procesos de amonificación, nitrificación y fijación de nitrógeno

De todo ello se deriva una mejora de la productividad de los suelos en general. Sin embargo, muchos autores (Venema, Hardy) indican que el exceso del encalado en suelos tropicales es muy peligroso. Así el uso desmedido de cal ha producido resultados catastróficos en la agricultura tropical. Los efectos deteriorantes del sobreencalado son varios, entre los más importantes se indican:

- 1) Produce la destrucción de la estructura porosa granular característica de los suelos lateríticos.
- 2) Aumenta la velocidad de descomposición de la materia orgánica y acelera su pérdida.
- 3) Inmoviliza o reduce la disponibilidad de algunos elementos nutritivos como hierro, manganeso, zinc, bore y cobre produciendo deficiencias de los mismos.
- 4) De usarse CaCO_3 sólo, se reprime la absorción de Mg a causa del antagonismo Ca/Mg
- 5) Afecta adversamente la relación Ca/K y puede inducir deficiencias de K

Como indicado, el encalado tiene un efecto múltiple sobre diferentes características químicas, físicas y microbiológicas del suelo. Ello fue objeto de estudio en diferentes suelos ácidos de Costa Rica y los resultados encontrados se pueden considerar como un ejemplo de investigación integral de este problema.

En los cuadros 1 a 3 se presentan algunos de los resultados; igualmente se pueden observar el origen, clasificación y propiedades de los suelos incluidos en este estudio; son suelos de la Meseta Central de Costa Rica derivados, unos de cenizas volcánicas recientes (andosoles) y otros de lavas del pleistoceno (ultisoles) o de diferentes materiales sedimentarios depositados en los valles de la región (aluviales). Todos ellos son ácidos con valores pH CaCl_2 entre 3.8 y 5.1 y presentan una saturación de bases baja entre 4 y 15 por ciento, a excepción de uno con un valor del 51 por ciento. Muestras de esos suelos fueron incubadas en condiciones normales de temperatura y en un contenido de agua equivalente a su capacidad de campo por 5 meses con dosis de 0, 1, 2, 4, 8 y 16 meq Ca + Mg/100 g suelo.

Los cambios de pH debidos al encalado pueden ser observados en detalle en los Cuadros 1 a 3, ellos equivalen en algunos suelos hasta en 2 unidades bajo las dosis máximas de cal. Mientras que en otros sólo llegó a 0,7 unidades. En la figura 1 se observa un efecto progresivo de aumento del pH con las dosis utilizadas en los dos suelos aluviales. Los suelos presentan una capacidad tampon muy diferenciada, aquellos que presentan el mayor contenido de materia orgánica y de materiales amorfos u alofánicos ofrecen la mayor resistencia a cambios de pH y la mayor capacidad buffer; ésto caracteriza a los suelos derivados de cenizas volcánicas. Los suelos caoliníficos son más susceptibles a cambios de pH bajo la acción de la cal.

En la figura 2 se presenta la influencia del encalado sobre la capacidad de intercambio catiónico, las bases y acidez cambiables de uno de los ultisoles estudiados. Su capacidad total de intercambio catiónico aumentó de 27 a 30 meq/100 g suelo al aumentar progresivamente su pH de 5,1 a 5,6 como efecto del encalado al aplicar dosis de hasta 16 meq Ca + Mg/100 g suelo; ello se explica en base a la formación de cargas electro-negativas dependientes del pH en la materia orgánica, arcillas o hidróxidos tal como indicado en acápite anteriores.

La cubierta del intercambio catiónico varía notablemente con el encalado. De la disolución de los carbonatos utilizados como material de enmienda resulta una liberación de Ca y Mg que paulatinamente desplazan al Al y H del complejo de intercambio; así p.e. en un suelo aluvial (figura 1) disminuyó el Al de 5,8 a 1,3 meq/100 g de suelo con el consiguiente control de una posible toxicidad de este elemento; uno de los ultisoles presentó igualmente esa disminución exponencial del Al del complejo de intercambio y en los otros suelos se observa un efecto progresivo de disminución del Al extraíble aunque no tan notable como en los dos suelos anteriormente mencionados. El aumento del Ca y Mg cambiables se ajusta a su dosificación con el encalado (figura 2); sin embargo los valores registrados indican que la disolución de los carbonatos de Ca y Mg no ha sido completa y que la velocidad de liberación de Mg es mayor que la de Ca. La acidez cambiabile (Al + H) disminuye proporcionalmente al aumento de Ca y el K cambiabile permanece constante o independiente del encalado y cambios del pH (figura 2). El valor V o sea el porcentaje de las bases cambiables en la capacidad total de intercambio catiónico aumenta naturalmente con las adiciones de Ca y Mg. Estas variaciones se ajustan también a la capacidad tampon

de los suelos; así en los suelos volcánicos andosólicos se registran los menores y en los aluviales los mayores aumentos. Al calcular las relaciones de las bases p.e. - $\frac{Ca + Mg}{K}$ se observa una gran influencia del encalado, para algunos de los suelos como Paraíso, Colorado y Birrisito esta relación ascendió con la mayor dosis de encalado a valores de 140, 191 y 297 lo cual implica un desbalance catiónico y una deficiencia de K.

La composición de la solución equilibrada del suelo y las actividades iónicas de los diferentes elementos reflejan el tratamiento y el encalado de los suelos; en la figura 3 se encuentran las actividades iónicas de Ca, Mg y Al de un ultisol en función del pH resultante del encalado, las primeras aumentaron notablemente con el encalado, la del Al disminuyó en forma exponencial tal como en la saturación del complejo de intercambio. La actividad iónica del H⁺ disminuyó en forma similar al Al y la de K permanece sin alteración alguna. Los cambios encontrados se reflejan en los potenciales catiónicos, especialmente pH-0.5 pCa, pH-0.33 pAl, pK-05 pCa + Mg y en los coeficientes de Gapon.

Con las muestras encaladas se condujo un experimento en macetas para estudiar el efecto del encalado sobre la producción de esos suelos. Se encontró que las dosis iniciales provocaron un aumento notable de la producción de plantas de tomate y que al sobrepasar el valor de pH 5.5 a 6.0 se producía un detrimento muy agudo de la misma (ver figura 4) que es conocido como el sobreencalado. Ello indica que una dosis excesiva de cal provoca una disminución de las cosechas debido al desbalance catiónico entre Ca, Mg y K ó por deficiencias de algún otro elemento nutritivo. De ello se desprende de que el encalado de los suelos ácidos tropicales debe ser objeto de su estudio detallado en cada caso y para los cultivos específicos para no provocar trastornos en la productividad y cosechas de los mismos.

Los resultados presentados obtenidos en el laboratorio y en invernadero encontraron su corroboración en condiciones de campo al conducirse un experimento con caña de azúcar en un andosol (Birrisito). El material de enmienda fue colocado al fondo del surco antes de la siembra de la caña de azúcar. La cosecha aumentó de

13,6 ton/ha a 14,8 y 16,6 al aplicarse 1,4 y 2,8 ton CaO/ha y se encontró el sobreencalado disminuyendo la cosecha a 15,5 y 15,6 ton/ha con dosis de 5,6 y 11,2 ton CaO/ha.

En muestras tomadas a los 39 meses de la aplicación de los materiales de enmienda se hizo un estudio del efecto vertical y horizontal en la profundidad del suelo de la cal aplicada. En la figura 5 se observa el efecto sobre el pH en los primeros 20 cm del suelo el pH subió progresivamente de 4,1 a 5,6 al aplicarse hasta 11,6 ton CaO/ha; sin embargo, el efecto más notable se alcanzó entre los 20 y 40 cm con aumentos del pH hasta de 2 unidades, el efecto del encalado disminuye después con la profundidad del suelo y en los 100 cm no se manifiesta un cambio. El comportamiento del Ca cambiante presenta una tendencia similar; la zona de mayor influencia se registra sobre 20 y 40 cm con una diferencia máxima de 16 meq/100 g de suelo. En otros análisis se observó como progresivamente se van movilizand los materiales de enmienda aplicados; en las condiciones del experimento (3.800 mm lluvia/año) este proceso es muy intenso. Otros autores han demostrado efectos similares de translocación de la cal y en estudios a largo plazo se ha observado que en suelos tropicales la aplicación del encalado debe repetirse al cabo de unos pocos años.

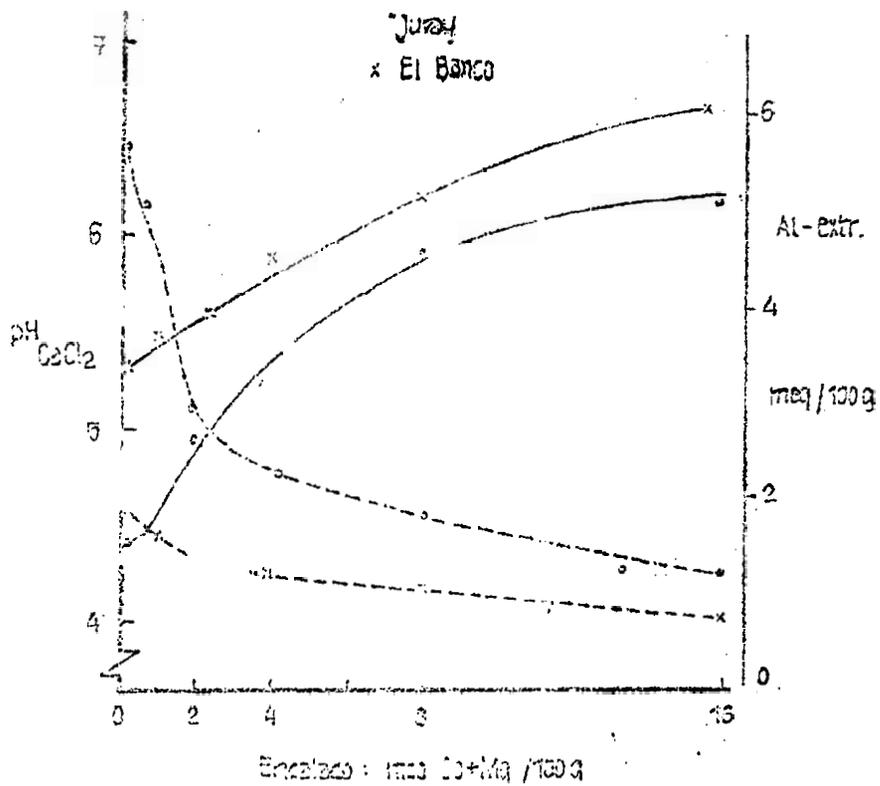


FIGURA 1. EFECTO DEL ENCALADO SOBRE EL pH y EL ALUMINIO EXTRAIBLE DE DOS SUELOS DE COSTA RICA (Segun Fassbender y Pineres. 1971)

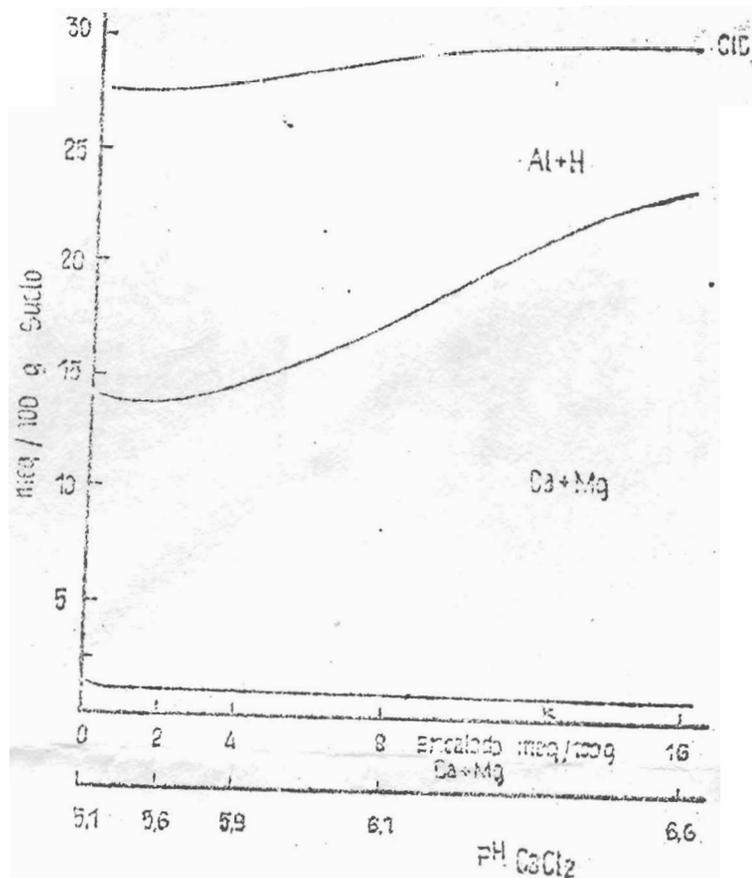


FIGURA 2. EFECTO DEL ENCALADO SOBRE LA ACIDEZ Y BASES CAMBIABLES EN UN ULTISOL DE COSTA RICA (Segun Fassbender y Pineres. 1971)

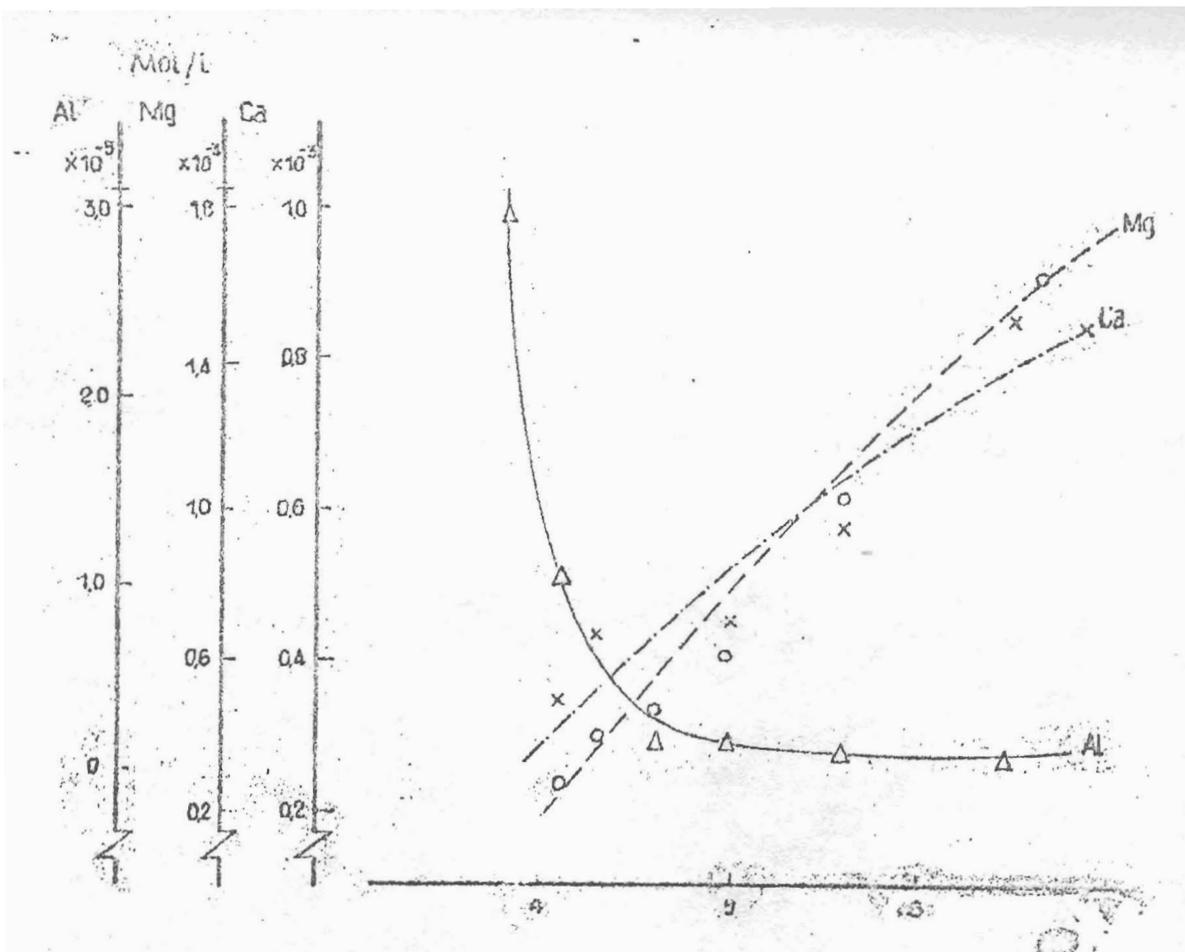


FIGURA 3. EFECTO DEL ENCALADO SOBRE LA SOLUCION EQUILIBRADA DE UN ULTISOL DE COSTA RICA (Segun Fassbender y Pineros 1971).

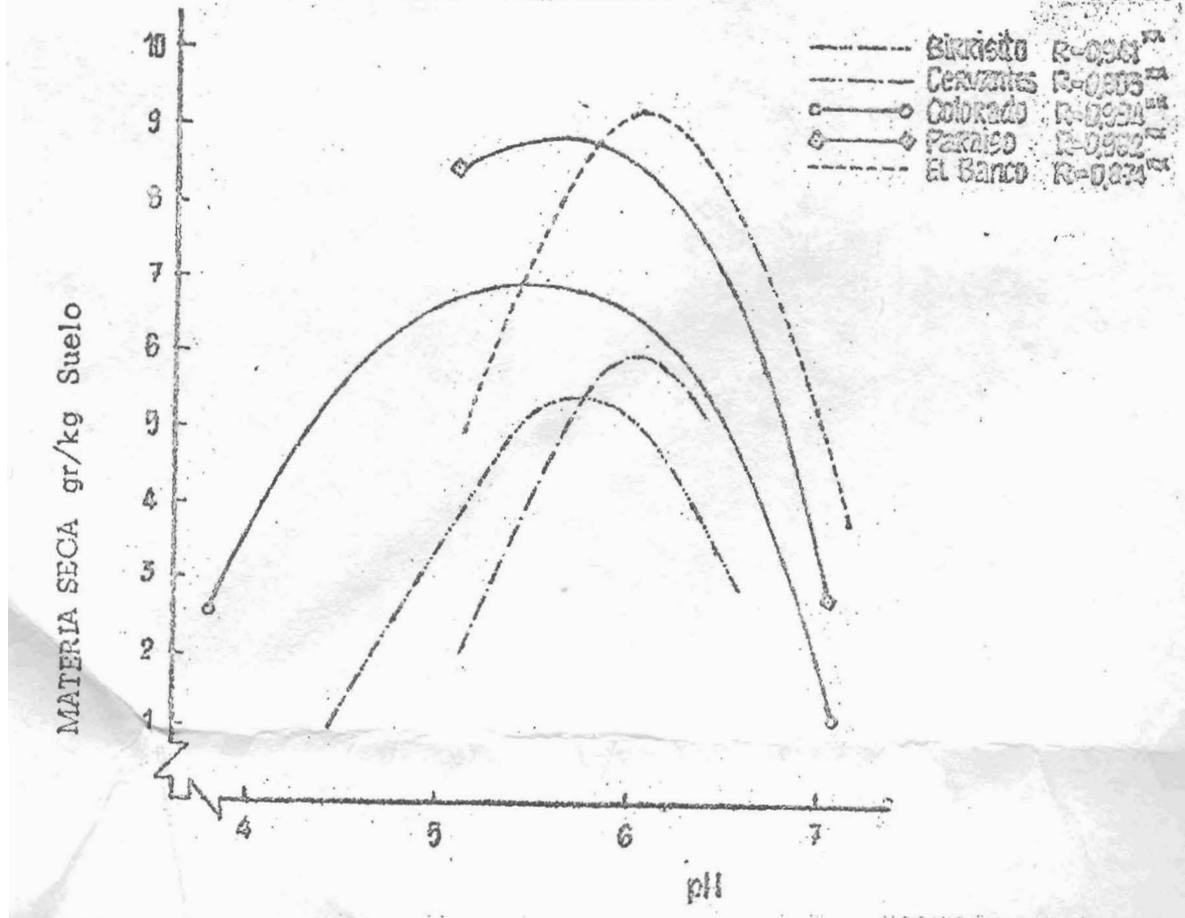


FIGURA 4. PRODUCCION VEGETAL EN FUNCION DEL pH DESPUES DEL ENCALADO (FASBENDER, PINERES, 1971)

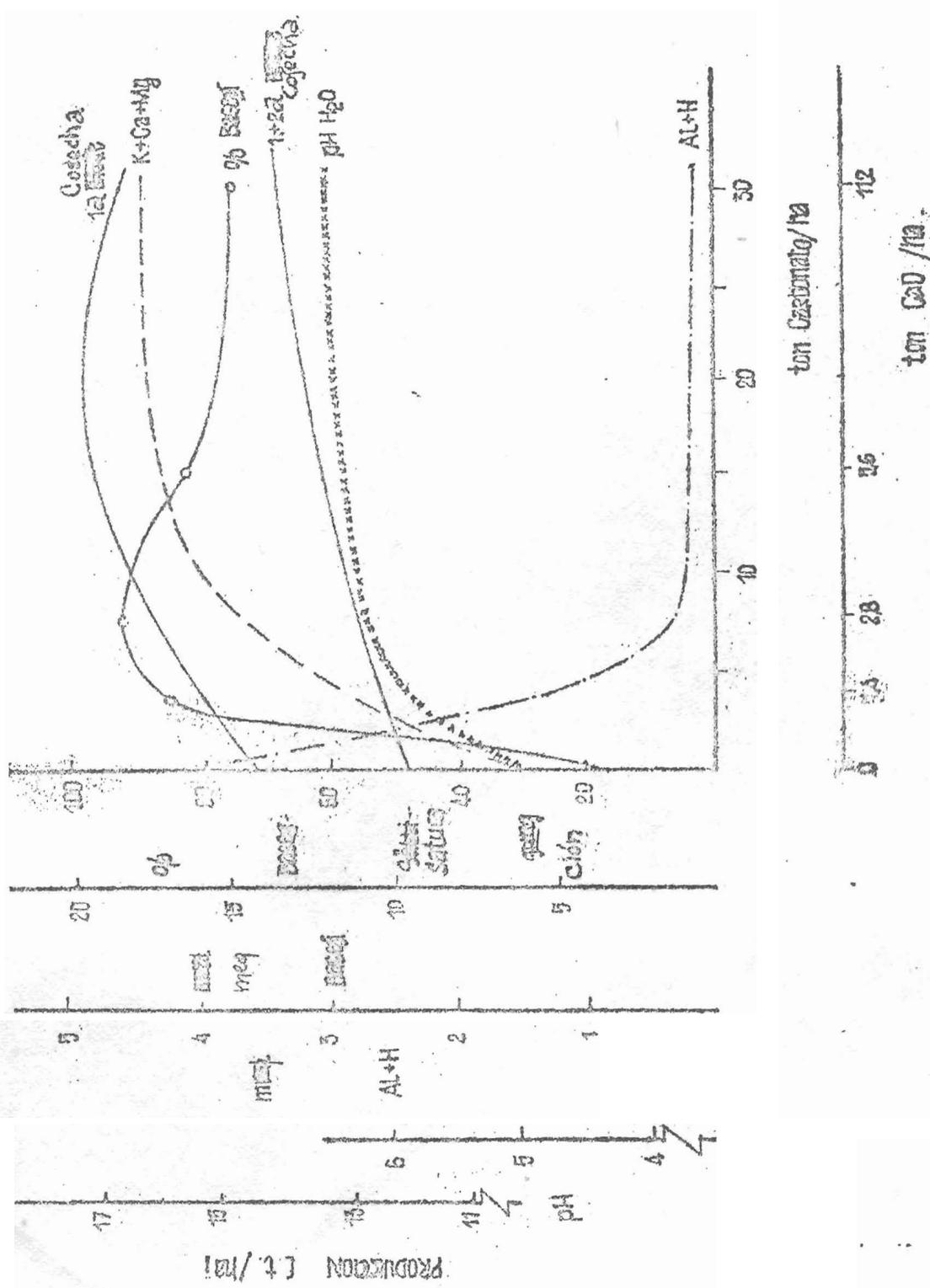


FIGURA 5. EFECTO DEL ENCALADO (59 meses de la aplicacion) SOBRE LA COSECHA DE CANA DE AZUCAR Y ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO (0.20 cm) (FASBENDER, MORELLI, sin publicarse)

LITERATURA

- ABRUNA-RODRIGUEZ, F., VICENTE-CHANDLER, J. Sugar cane yields as related to acidity of a humid tropic tisol. *Agronomy Journal* 59:330-331. 1967.
- ABRUNA-RODRIGUEZ, F. y VICENTE-CHANDLER, J. Refinement of a quantitative method for determining the lime requirements of soils. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 39:41-45. 1955.
- AYRES, A.S. Liming Hawaiian sugarcane soils. *Hawaii Plant. Rec.* 56:227-244. 1961.
- AYRES, A.S., HAGIHARA, H.H. Significance of extractable aluminum in Hawaiian sugarcane soils. *Soil Sci.Soc.Amer.Proc.* 29:387-392. 1965.
- BORNEMISZA, E. Conceptos modernos de la acidez del suelo. *Turrialba* 15:20-24. 1965.
- BORNEMISZA, E., LAROCHE, F.A. and FASSBENDER, H.W. Effects of liming on some chemical characteristics of a Cosra Rican latosol. *Florida Soil & Crop Sci., Soc. Proc.* 27:219-222.
- COLEMAN, N.T., KAMPRATH, E.J. and WEED, S.B. Liming. *Advances in Agronomy* 10:475-522. 1959.
- FASSBENDER, H.W. Efecto del encalado en la mejor utilización de fósforo en un andosol de Costa Rica. *Fitotecnia Latinoamericana* 6(1):115-126. 1969.
- FASSBENDER, H.W. and PINERES, E. Effect of liming on the exchangeable cation composition and availability of six Costa Rican soils. *Z.Pflanzenernahrung und Dungung (Alemania)* 130:124-135. 1971.
- HARDY, F. The Turrialba senile latosol and its fertilizer requirements. IICA, Turrialba, Costa Rica, 1962. p. 48 (mimeografiado)
- JACKSON, M.L. Aluminum bonding in soils: A unifying principle in soil science. *Soil Sci. Soc. Amer.Proc.* 27:1-10. 1963.
- LAROCHE, F.A. A calagem em solos tropicais de clima humido. *Fitotecnia Latinoamericana* 3:83-97. 1966.

- MARTINI, J.A. Algunas notas sobre el problema del encalado en los suelos del trópico. Turrialba 18:249-256. 1968.
- MORELLI, M. Influencia de calagem no complexo de troca e movimento de calcio e magnesio em um andosol de Costa Rica. Tesis Mag.Sci., IICA, Turrialba, Costa Rica, 1971. 56 p.
- PEARSON, E.W. and ADAMS, F. Soil scidity and liming. America Society of Agronomy. Monograph. N° 12, Madison, Wisconsin, USA, 1967. 274 p.
- RICHARDSON, H.L. Soil acidity and liming with tropical crops. World Crops 31:339-340. 1951.
- VENEMA, K.C.W. Diversos informes sobre el pH, estado de cal, necesidad de encalado en suelos tropicales y subtropicales. Revista de la Potasa (Berna) Nos. 16:1-11; 17:1-14. 1961.

ASPECTOS ECO-PEDOLOGICOS DE LA TRANSFORMACION DE UN ECO-SISTEMA FORESTAL EN UN ECO-SISTEMA AGRICOLA

H. W. Fassbender

Actualmente existe a nivel mundial una cierta incertidumbre en relación al futuro que van a sufrir las áreas tropicales. Estas áreas se caracterizan por ser bosques de una gran biomasa, con elevada capacidad fotosintética y que mantienen un ciclo interno estabilizado, rico en energía y en elementos nutritivos.

Hay información sobre la destrucción de esos eco-sistemas que aparentemente es alarmante. Datos sobre el devastamiento del área del río Magdalena, en Colombia, suponen que en los últimos diez años, se han tumbado alrededor de 15.000.000 de hectáreas. A través de los nuevos desarrollos de la vía trans-amazónica, se espera una evolución semejante a la anteriormente citada.

Los conservacionistas por un lado, indican que es necesario mantener esas áreas, porque son ecosistemas que están produciendo un mejoramiento del balance hídrico y del oxígeno a nivel mundial.

Además, diferentes instituciones están promoviendo estudios en esas áreas, tratando de saber qué estructura tienen esos eco-sistemas, qué características poseen, qué ciclos de energía y de elementos nutritivos presentan, y de qué manera se pueden dirigir para que al transformarse en sistemas agrícolas, mantengan su fertilidad y productividad.

Lo que a continuación va a exponerse pretende ser una síntesis de la información disponible al respecto a nivel mundial.

Tratarán de explicarse los aspectos de:

- a) Biomasa de los trópicos húmedos.
- b) Concretar ideas de los elementos nutritivos presentes en los mismos,
- c) Orientación más moderna del enfoque que se le viene dando, del desarrollo de análisis de sistemas.

- d) Se pasará a analizar las implicaciones que conllevan la tala y el fuego sobre el eco-sistema, pues esa corresponde a la forma normal de utilización y manejo de los mismos.
- e) Y por último, se harán unas consideraciones sobre las posibilidades de manejo a partir del sistema recién talado o a partir del suelo y de su utilización en el transcurso de su explotación.

En lo que respecta a la biomasa vegetal, refiriéndose específicamente a la primera figura en donde aparecen las biomásas estudiadas para algunos bosques primarios tropicales, es decir bosque siempre húmedos, con precipitaciones entre 1500 y 1800 mm. Los valores extremos, se presentan para Borneo y Brasil, con más de - 1.000 Ton/Ha., y son más bien datos de eco-sistemas no terrestres, como manglares; y en el rango inferior aparecen datos de Puerto Rico con 40 - 60 Ton/Ha.

Los resultados promedios son pues, de 200-400 toneladas de materia seca por hectárea.

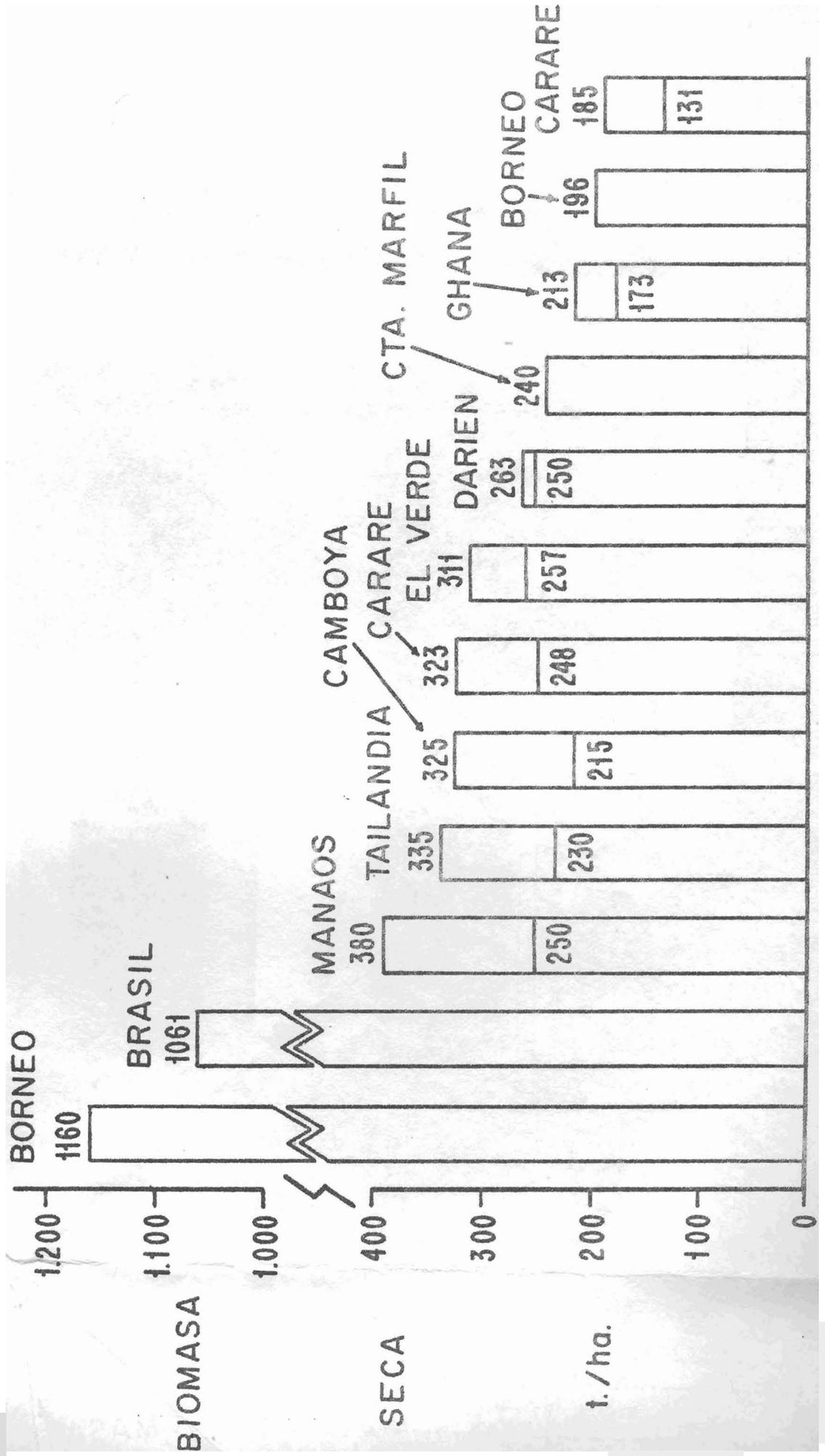
Esta información incluye dentro de la masa vegetal total, la parte de los tallos, ocupando esta parte de las plantas entre un 40 a 60% del promedio general de la biomasa total.

La biomasa tiene otros compartimientos a considerar, como son: hojas, capa húmica, raíces, etc. Existen observaciones de Ghana y Colombia, sobre la masa foliar, en donde se presentan variaciones notables según las diferentes estructuras de los bosques, y es esa masa foliar la que está produciendo la fotosíntesis y que - está llevando al mantenimiento de la productividad de esos eco-sistemas. Los estudios sobre raíces son esporádicos y erráticos, porque es muy difícil separar las raíces primarias y secundarias, además de que se presentan variaciones también en cuanto a especies de árboles y condiciones fisiogeográficas del suelo.

El enfoque actual que se le está dando se está orientando no sólo hacia la biomasa, como tal, sino que nos interesan también los elementos nutritivos. Desafortunadamente existe aún una separación grande entre las orientaciones que se están seleccionando para estos estudios y que aparecen en la literatura.

Hay también enfoques eco-botánicos con estudios de biomasa, pero ellos no hacen la investigación sobre los elementos nutritivos acumulados en la misma,

BIOMASA TOTAL Y DE LOS TALLOS EN BOSQUES PRIMARIOS TROPICALES



y vienen los otros mas interesados en los elementos nutritivos y para obtener esa información, hacen en primer lugar la determinación de la bio-masa.

Analizando la situación encontrada en diferentes trabajos, se aprecian las reservas nutritivas acumuladas en las distintas partes del eco-sistema en función de las características del suelo, en donde se están desarrollando esos bosques.

RESERVAS NUTRITIVAS EN BIOMASA AEREA (Kg/Ha)
(12 ecosistemas primarios tropicales)

N	720	-	2044
P	26	-	137
K	272	-	1017
Ca	430	-	2760
Mg	130	-	3890

El análisis de un ecosistema no debe circunscribirse sólo al estudio de la parte vegetal o aérea, sino que debe considerarse el ecosistema como un todo en donde se encuentran los micro-organismos en su asociación en el suelo y sobre el suelo. Así, por ejemplo, en la Tabla N° 1, en Carare, Colombia y en Ghana, se ha podido lograr esa información.

Se ve que la mayor parte de la materia orgánica está acumulada en la vegetación con 214 Ton/Ha., existiendo en el mantillo o sea en la capa húmica, sobre el suelo (L = liter) cantidades notables.

En muchos ecosistemas se ve la situación, de que existen muchos restos de vegetación muertos sobre el suelo. Si se incluye el suelo mineral como tal (0 = 50 cm) se nota otra distribución de la materia orgánica total.

FIGURA 1. POSIBLES COMPARTIMENTOS Y FLUJOS EN ANALISIS DEL CICLO BIOGEOQUIMICO.

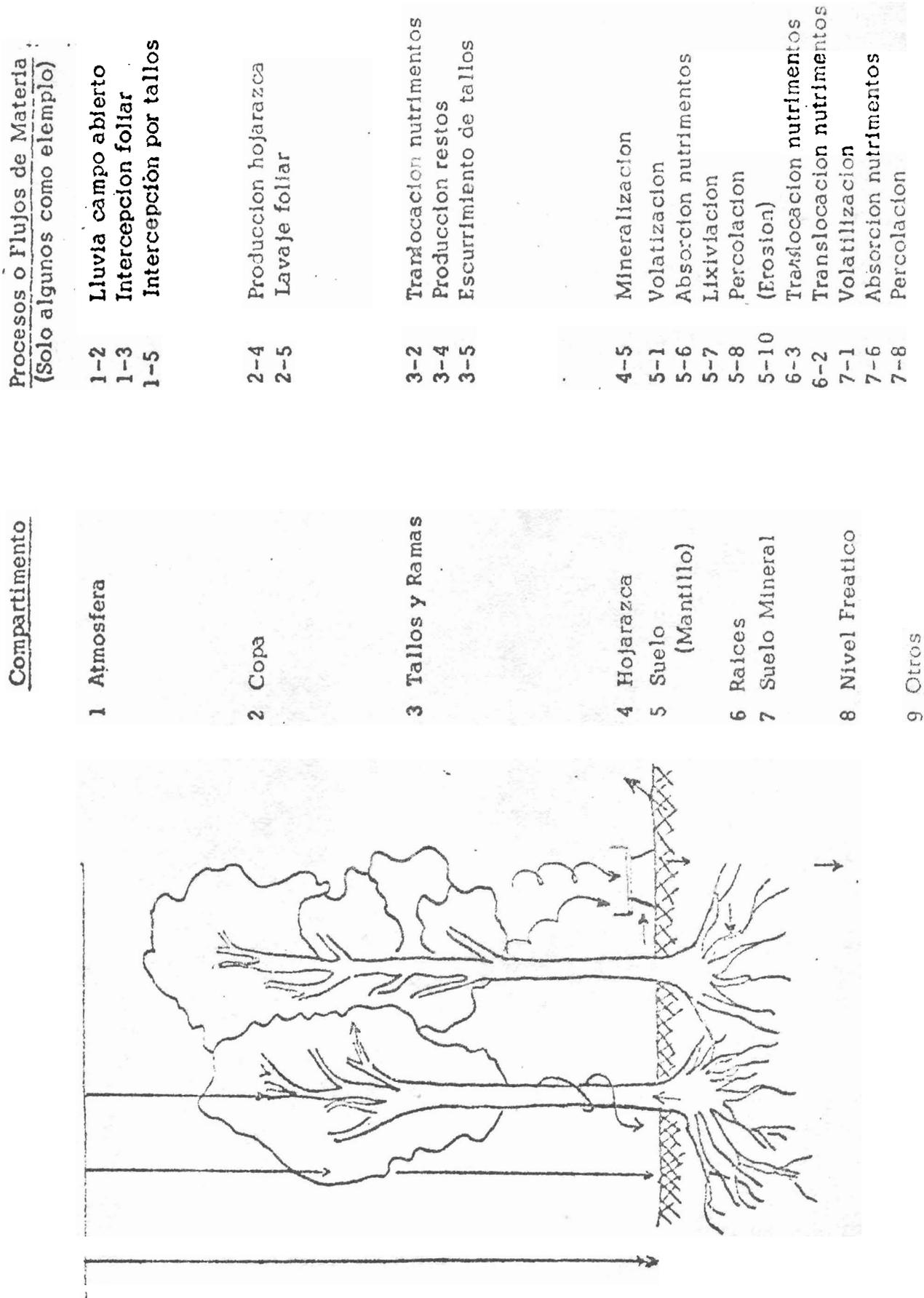


TABLA N° 1.-

RESERVAS NUTRITIVAS ACUMULADAS EN ECOSISTEMAS TROPICALES						
	M.O.	N	P	K	Ca.	Mg
	ton/Ha	Kg/Ha.				
<u>Carare, Colombia</u>						
de las Salas, 1973						
Vegetación	214	724	26	272	430	130
Mantillo L	11	106	44	6	48	10
H	13	506	13	26	45	17
Madera muerta	13	21	1	3	20	3
Suelo mineral						
0 - 50 cm.	88	5350	730	0	582	68
<u>Kade, Ghana</u>						
Ny e y Greenland 1964						
Vegetación	262	1028	69	492	1638	234
Mantillo	2	35	11	10	46	6
Suelo mineral	n.d.	4592	n.d.	650	2576	370

Generalmente la materia orgánica presenta su acumulación en la parte aérea vegetal, pero para determinados elementos nutritivos esa situación se invierte en función de los contenidos en que los mismos se presentan en el suelo. Así, por ejemplo, el Nitrógeno con 5350 Kg en el suelo de 0 - 50 cms, representa una cuadruplicación de la cantidad presente en la parte aérea.

El fósforo igualmente tiene una gran cantidad y el potasio es en este caso deficiente, y el factor limitante en ese ecosistema de Colombia.

Esos resultados tendrán implicaciones en las consideraciones que se harán posteriormente, considerando los compartimientos:

El análisis de un eco-sistema se enfocó generalmente hasta ahora en las determinaciones de la biomasa, incluyendo a veces los elementos nutritivos, y existen algunos estudios que incluyen la producción de hojarasca y la presencia de elementos nutritivos dentro de la misma, y a continuación se presenta una tabla que resume la información para doce eco-sistemas tropicales, con una producción de hojarasca que

TRANSFERENCIA VIA HOJARASCA DE ELEMENTOS NUTRITIVOS
(12 ecosistemas tropicales)

Hojarasca (t/Ha y año)	4.7	-	25.0
N (Kg/ha y año)	38	-	225
P " " "	3	-	18
K " " "	13	-	104
Ca " " "	18	-	307
Mg " " "	12	-	72

varía de 4.7 a 25 Ton/Ha, se ven igualmente transferencias dentro del sistema, para los diferentes elementos nutritivos.

Existe también la vía del agua de lluvias, que al pasar a través del ecosistema sufre una variación en su composición al lavar las hojas o al escurrir a lo largo de los tallos. Así se vé por ejemplo, que el contenido de potasio y sodio se cuadruplica como consecuencia del lavado de los tallos. La traslocación del potasio a través del ecosistema puede ser muy notable.

Tabla N° 4

TRANSFERENCIA DE NUTRIMENTOS VIA LAVAJE FOLIAR Y TALLOS
(Kade, Ghana; N y e y Greenland, 1964)

N (Kg/Ha y año)	12
P " " "	3.7
K " " "	220
Ca " " "	29
Mg " " "	18

Los datos que se han mostrado representa el enfoque que se le ha dado hasta ahora al estudio de ecosistemas, y ahora se ha producido un nuevo desarrollo. Se ha tratado de evaluar el ecosistema en forma integral y generalmente se hace un análisis de sistemas en donde se determinan los distintos compartimientos y las diferentes fracciones del eco-sistema y establecer los diferentes flujos que puedan existir dentro del mismo.

En forma esquemática se pueden enumerar los compartimientos que se pueden estudiar al considerar un ciclo bio-geo-químico y que son los que aparecen en la figura # 2, o sea:

- atmósfera
- capa freática
- y el eco-sistema en sí.

Además se pueden establecer diferentes flujos. Así, por ejemplo, el agua de lluvia, al llegar al suelo a campo abierto, vendría a corresponder al compartimiento 1 y 5. Al producirse el lavado foliar, se está sucediendo un movimiento del compartimiento 1 al 3, tallos y ramas y así se puede establecer una matriz de procesos y de flujos que se pueden estudiar en el suelo.

Generalmente en la parte de la vegetación del ecosistema, la interpretación de los flujos es bastante fácil, porque se tienen pocos compartimientos y una naturaleza más o menos inerte desde el punto de vista de translocación exterior de elementos, pero desde el punto de vista de absorción y distribución de nutrientes en los diferentes pisos del sistema, resulta difícil de estudiar.

Los flujos entre la parte aérea y el suelo es más complicado, por ejemplo para la producción de hojarasca, se ve que ésta se deposita y sufre el proceso de mineralización, liberando nutrientes que van a ser trasladados a través del perfil. Para estudiar específicamente ese proceso se han ideado técnicas como la de los lisímetros, con la que se colectan muestras de agua a distintas profundidades, que al ser analizadas químicamente, permiten establecer las cantidades de un determinado elemento que pasa de un segmento al otro del suelo.

Estos estudios se complican en el momento de determinar los elementos en los que se producen los procesos de volatilización o absorción de ellos por la parte aérea, o el lavado superficial en el suelo o los que son sometidos a los procesos de mineralización de la materia orgánica.

Sobre trabajos de ese tipo integral, en donde se haga un análisis de sistemas, se dispone de poca información para las áreas tropicales, aunque ya existen algunos modelos como el citado anteriormente de El Verde, Puerto Rico y que se esquematiza en la figura # 2.

Ese esquema es bastante simplificado y permite representar las posibilidades del calcio en ese eco-sistema.

Se tiene en primer lugar una contribución de la atmósfera (INPUT) que es medido a través de las muestras de agua de lluvia y que traen para ese caso 9.2 Kg./Ha/año.

Igualmente se muestra una salida de ese elemento del eco-sistema, que pasa al agua freática que es obtenida a través de lisímetros y que es de una magnitud igual a 1.2 Kg/Ha.

Viendo las diferencias se nota que en función del tiempo, existe una acumulación que es la consecuencia de una situación muy especial que resulta de la porción geográfica que ocupa ese eco-sistema, en zona costera, en donde las brisas cargadas de sales se depositan, produciendo ese enriquecimiento.

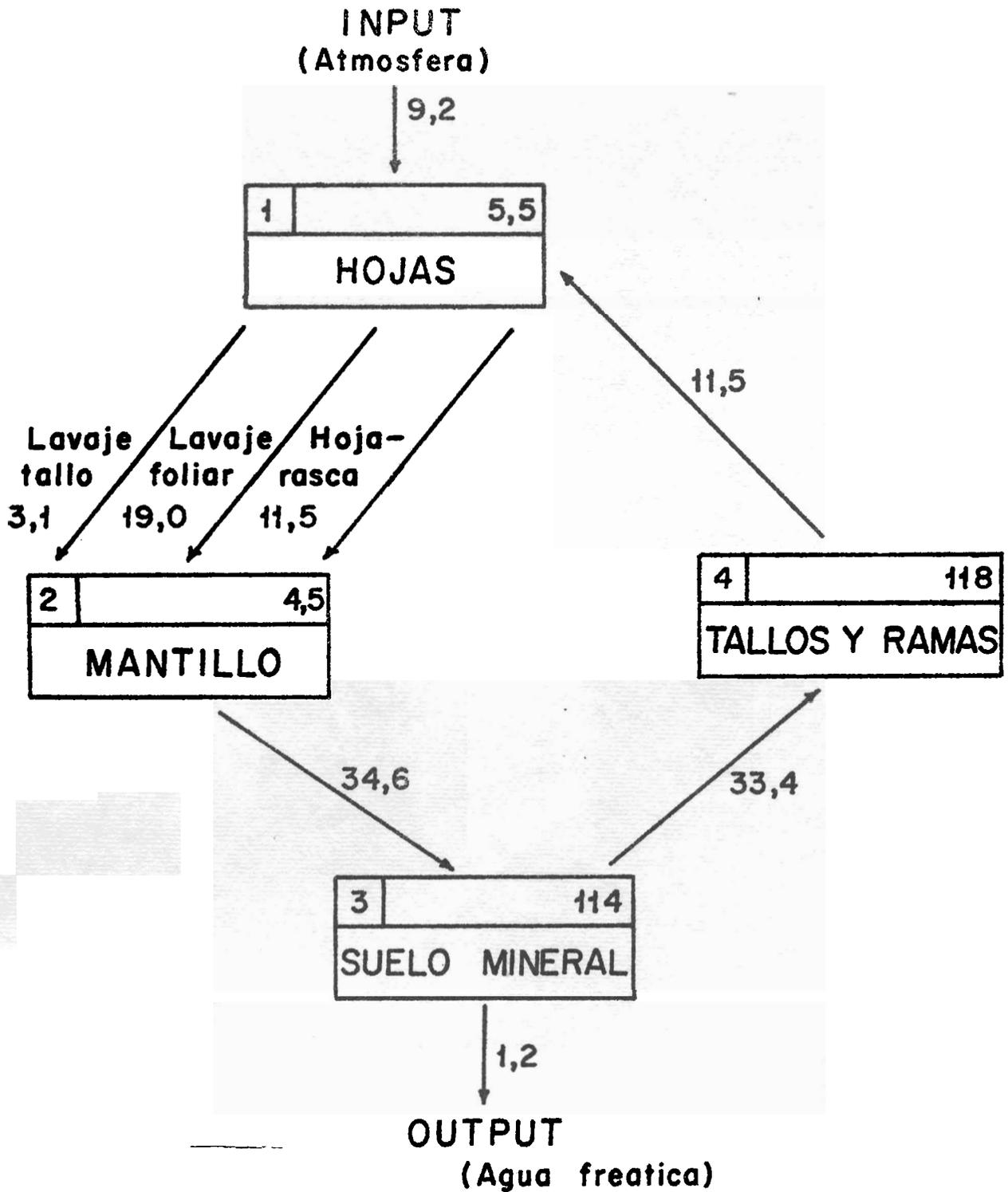
El establecimiento de compartimientos como tallos, ramas, hoja, mantillo y suelo mineral y su valoración en contenidos de esas fracciones expresadas en Kg/Ha se logra mediante muestras selectivas, a partir del estudio de la biomasa y pueden tenerse en cuenta los flujos dentro del sistema.

Ese esquema simple, que parece bastante lógico y que es fácil de analizar podría establecerse como modelo para el estudio de diversos elementos nutritivos.

Hay otros análisis de sistemas más complicados, en donde se delimitan además de los compartimientos citados, otros en donde se hacen aparecer los organismos que están implícitos en el proceso de transformación de los restos vegetales que también forman parte de ese eco-sistema, y que a partir de los procesos de mineralización producidos por ello en cadena, suplen al suelo de distintos minerales.

MODELO DE SISTEMAS DEL CALCIO EN BOSQUE TROPICAL

(El Verde, Pto. Rico, Odum, 1970)



CONTENIDO DE COMPARTIMIENTOS Kg/Ha
 FLUJOS DE TRANSFERENCIA Kg/Ha. y año

Esos conocimientos pueden servir de base para un estudio de simulación para saber cuál va a ser el porvenir de esos ecosistemas a largo plazo.

Al considerar la transformación del ecosistema, debe hacerse hincapié en la tala y la quema.

La quema, es la acción del fuego, y su importancia reside en las altas temperaturas que se alcanzan por su efecto. Las medidas de su efecto se hicieron anteriormente a 2 cm en el aire y en lo profundo. Actualmente se han desarrollado tecnologías muy complicadas como las de las termo-registradoras, y su efecto - más importante a considerar son las posibles transformación que se pueden suceder.

La tala, implica derribar todo lo aéreo y en un momento dado quemarlo. El efecto de la tala sobre los nutrientes del ecosistema es muy difícil de estudiar porque se precisa de una gama de muestras muy detallada.

Ese tipo de estudio se hizo en Carare, Colombia y aparece en la tabla N° 5.

EFFECTO DE TALA EN NUTRIMENTOS DEL ECOSISTEMA
(Carare, Colombia, 1 año, de las Salas, 1973)

	M.O. t/ha	N	P	K	Ca	Mg
		Kg/ha				
1) Mantillo original	28.9	394	19.0	24	163	33
2) Hojas de tala	12.2	227	9.2	67	56	25
3) Input (1 + 2)	41.1	621	28.2	91	219	58
4) Después de 1 año	27.7	429	14.6	27	140	33
5) Perdida (vs 3)	- 13.4	- 192	- 13.6	- 64	- 79	- 25

En la tabla N° 6 se presenta los efectos de la tala y del fuego.

La situación original aparece con 28.0 Ton/Ha en el mantillo y se considera que en el momento de la tala y el fuego, se quemaba mas que todo la parte correspondiente a las hojas que venían del eco-sistema.

Tabla N° 6

EFECTO DE TALA Y FUEGO EN NUTRIMENTOS DEL ECOSISTEMA (Carare, Colombia, 5 meses, de las Salas, 1973)						
	<u>M.O.</u>	<u>N</u>	<u>P</u>	<u>K</u>	<u>Ca</u>	<u>Mg</u>
	t/ha	kg/ha				
1) Mantillo original	28.0	197	7.9	21	86	21
2) Hojas de tala	12.2	227	9.2	67	56	25
3) Input (1 + 2)	40.2	424	17.1	88	142	46
4) Después fuego	21.0	190	23.4	85	276	76
5) Output Gas (3 - 4)	- 18.8	- 234	-	-	-	-
6) Input Oxidos (4 - 3)	-	-	- 6.3	-3	+ 134	+30
7) Mantillo 5 meses después fuego	21.0	242	6.7	9	111	26
8) Perdida vs 4	<u>+ 0</u>	+ 52	-16.7	-76	- 165	- 50
9) Perdida vs 3	- 18.8	- 182	-10.4	- 99	- 31	- 20

En estos estudios, es importante desde el punto de vista edafológico el considerar que la temperatura superficial aún bajo una condición de fuego lento y moderado, es de 150°C, y eso implica un proceso de esterilización completo de los micro-organismos del suelo y además el inicio de los procesos de volatilización de los productos de la materia orgánica del suelo.

Una temperatura bajo condiciones intensas de fuego es de 500°C y desde el punto de vista químico, se sabe que los compuestos azufrados, nitrogenados y la materia orgánica se volatilizan en la atmósfera.

En los estudios realizados en Carare, puede apreciarse la situación original, con 28,8 Ton/Ha de materia seca en el mantillo, y se consideró que en el momento de la tala y fuego, tabla # 6, se quemaba más que todo, la parte correspondiente a la parte de las hojas que venían del ecosistema.

Al aparecer el fuego, la capa que podría presentar un cierto peligro de fuego, representaba un peso de 40,2 Ton/Ha, y el análisis de los resultados obtenidos, un día después de la quema, había solamente 21 Ton/Ha, eso nos da una diferencia que corresponde a la pérdida en forma gaseosa de la materia orgánica.

Así, se puede considerar la situación para cada uno de los elementos nutritivos.

Para el Nitrógeno, se ocasiona una pérdida de 234 Kg/Ha.

Si se trata de extrapolar eso a la situación agrícola, vemos que una pérdida de 234 Kg, a partir de 424 Kg, representa una pérdida del 70% de la cantidad presente en un momento dado en forma de volatilización.

Los otros elementos son, desde el punto de vista químico, más estables y lo que sucede generalmente es una transformación a su forma de óxido, y las acumulaciones resultantes para cada uno de esos elementos nutritivos.

Comparando los datos encontrados en muestras recogidas 5 meses después de la quema, detectamos una condición estable para la materia orgánica, y una ligera acumulación de Nitrógeno por fijación atmosférica y posiblemente se deba también a un factor de error en el muestreo.

Los elementos nutritivos que sufrieron su transformación a forma de óxido, presentan una disolución en el agua de lluvia, y los subsiguientes procesos de lavado.

Considerando esa tabla, sería cuestión de interpretar los valores obtenidos en el momento inicial, y 5 meses después de la quema, apareciendo las siguientes pérdidas:

Materia orgánica	18.8 Ton/Ha
Nitrógeno	182 Kg.
Fósforo	10.2 "
Calcio	31 "
Potasio	99 "
Magnesio	20 "

Si se compara con los contenidos totales de estos elementos, se ve que existe una diferencia, y eso lleva a una pérdida de **elementos nutritivos**.

A largo plazo, existen algunos trabajos en los cuales ciertos autores han tratado de evaluar la situación de la **Materia Orgánica** y del **Nitrógeno** en el transcurso del uso de los suelos.

Tabla N° 7 EFECTO DE TALA Y CULTIVO SOBRE C Y N (Jagnow, 1967)

Lugar	Cultivo	Años	%C	%N	%Kc	Años para 50% del original
Trinidad	Maíz, leguminosas	0	1.02	0.13	3.2	22
		6	0.84	0.11		
Ghana	Maíz, Yuca	0	2.19	0.16	4.8	14
		8	1.50	0.13		
Ceylon	Shifting	0	1.32	0.12	7.5	9
		2	1.13	0.10		
Ghana		0	2.41	0.23		
	Talado, cobertura	3	1.44	0.15	15.8	4
	Talado, descubierto	3	1.03	0.12	25.0	3
	Cacao	12	1.71	0.18	2.5	28

En esas localidades, al iniciarse el cultivo del maíz y cañotes, se tenía 1.02% de C y 0,13% de N, después de 6 años de explotación de ese suelo, aparecían valores menores, lo que implica la pérdida de materia orgánica y nitrógeno, y evaluado como una

reacción de primer orden puede llevar a una constante anual de pérdida y con esos valores, pueden calcularse los años necesarios para perder el 50% del humus y nitrógeno presente en el suelo.

Generalmente, bajo cultivos de agricultura rotativa, hay una tasa bastante acelerada de destrucción de la materia orgánica y existe un experimento interesante, en donde se tenían cuatro variables:

- El suelo original
- = Después de talado y cubierto
- Después de talado y descubierto
- ó bajo cacao durante doce (12) años

Pudo comprobarse que en el transcurso de cuatro años, cuando el suelo era talado y cubierto, se hubiese perdido la mitad de la materia orgánica.

En tres años hubiese desaparecido la mitad de esa reserva nutritiva con el suelo talado y descubierto, pero el cultivo del cacao que, además está produciendo sombra, tiene un reciclaje continuo de la materia orgánica con aporte de restos vegetales que se depositan en el suelo, y que conllevan a un desarrollo adecuado del ecosistema.

En la tabla N° 8 se muestra la condición del pH a través de la quema, en donde se sucede una gran liberación de óxidos que ocasionan un ascenso del pH.

Tabla N° 8 EFECTO DE TALA Y FUEGO SOBRE EL pH DEL SUELO
(Kade, Ghana; N y e y Greenland, 1964)

Profundidad	Bosque original	después quema	Un año	Dos años
0 - 5	5.2	7.6	6.6	6.5
5 - 15	4.9	5.7	5.2	5.2

Los elementos nutritivos, presentes en la solución del suelo paulatinamente son lavados y el pH desciende en las dos profundidades consideradas del suelo bajo estudio.

Hay otro punto de vista que es el climático, en donde la temperatura del aire, registrada bajo condiciones de una deforestación, y el cambio del ecosistema a sa-

bana produce temperaturas más elevadas que cuando ésta es medida bajo el bosque. La diferencia de temperatura, a veces de 5°C y conlleva la aceleración de la descomposición de la materia orgánica y del nitrógeno como se vió anteriormente.

Por otro lado, se tiene la consideración en lo que respecta al agua del suelo, cuyos estudios se han efectuado en función de las variaciones del pH del suelo a distintas profundidades.

Si se hace un análisis de la fertilidad de los suelos, y con la observación de la figura esquemática de la fertilidad en suelos explotados, puede detectarse la situación siguiente:

En la primera curva se tiene que, en un momento dado la disposición de las reservas nutritivas es muy notable y la fertilidad ha disminuído considerablemente, pero existen diferentes posibilidades de manejo de esos suelos a fin de renovarla.

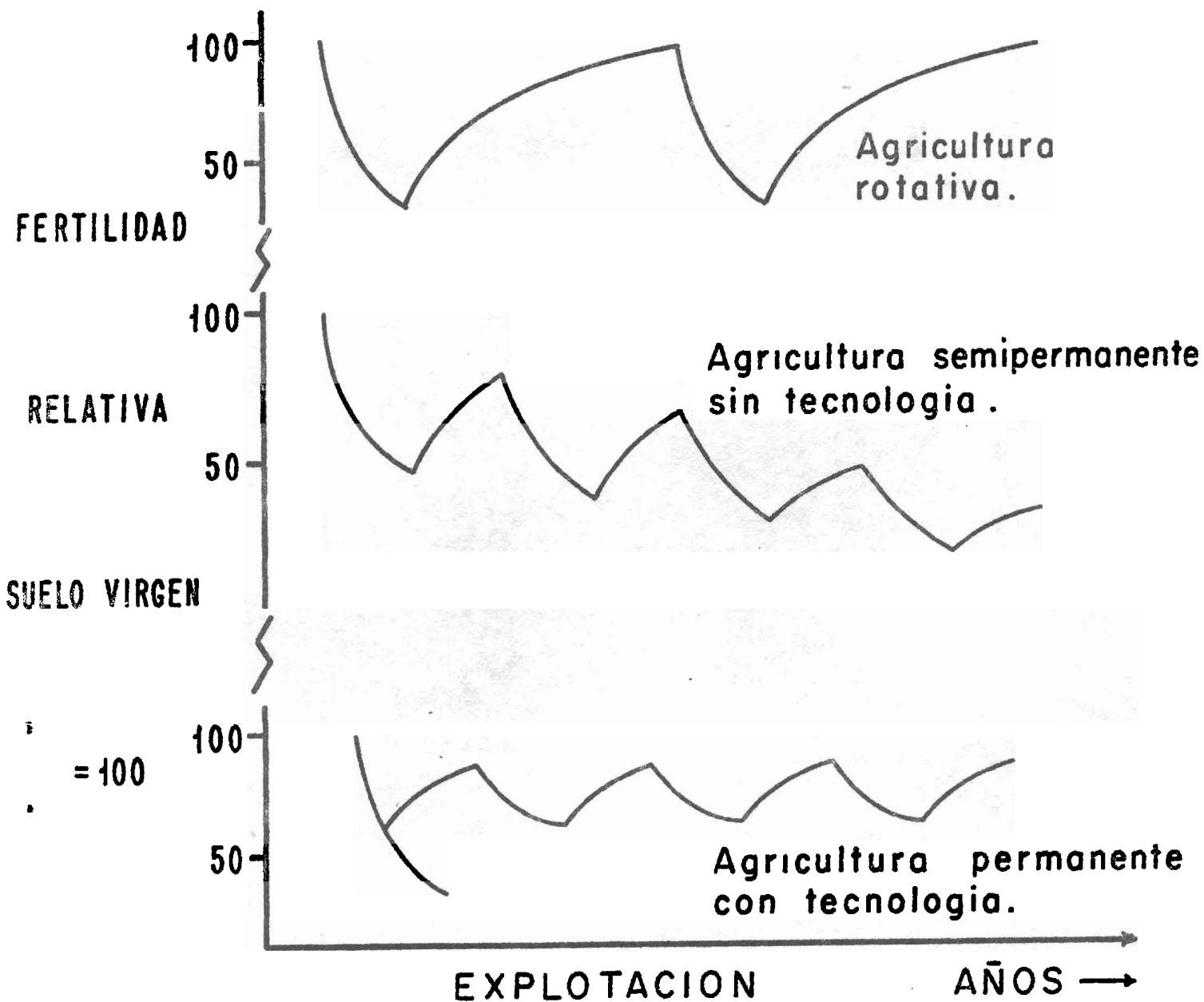
Puede haber la regeneración natural con bosques secundarios, obteniendo biomasa del orden de 130 Ton/ha en nueve años; alcanzando el promedio de biomasa del bosque primario.

Tabla N° 9 BIOMASA AEREA DE BOSQUES DE REGENERACION NATURAL

	<u>Años</u>	<u>t/ha</u>
Izabal, Guatemala Snedeker, 1969	1	6
	3	24
	4	32
	5	39
	6	46
	9	61
Yamgambi, Congo Landelout, 1960	2	13
	5	87
	8	130
	18	144

Se nota que al segundo año, se alcanza ya un bosque bastante notable y entre esos valores tiene que estar la situación de un nuevo uso del bosque secundario.

REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA FERTILIDAD EN SUELOS EXPLOTADOS



Entrando a la curva que representa la agricultura rotatoria, cuyo ciclo de fertilidad tiene una fertilidad de 100% en el bosque original, después de tres años de utilización, se muestra una disminución notable de la misma. La recuperación paulatina a través del ciclo uso - regeneración, tiene que definirse en función de las características del suelo y la regeneración será más acelerada cuanto más rico sea el suelo.

Esa situación, se da en pocas localidades, y solamente donde la disponibilidad de la tierra sea grande en comparación con la población y se presentan también dos modalidades.

a) La agricultura semi-permanente sin tecnología, en la cual después de ciclos muy cortos de regeneración, se va a su uso otra vez, llegando a una caída progresiva de la fertilidad del suelo hasta que se establece un equilibrio de la fertilidad muy bajo.

En áreas tropicales, así resultan los pastizales y la ganadería extensiva.

b) Hay también la agricultura mas o menos permanente en donde sí se aplica tecnología. Así se evita la caída de la fertilidad de los suelos, en el momento inicial de su explotación a través del uso de diferentes prácticas agrícolas, pudiendo mantener ese nivel, por ejemplo, con cultivos bi-anales.

La problemática está en el uso de la tecnología, es tecnología que prácticamente no está bien establecida y la investigación sobre este aspecto, es la gran incognita.

Desde el punto de vista de insumos, sería conveniente diferenciar la investigación que se haga sobre técnicas que impliquen la inversión notable de recursos en función de prácticas de fertilización, riego, drenaje, etc., en condiciones que se traten de imitar las situaciones de la naturaleza y establecer sistemas en donde a través del "mulch" o el "compost" se pudiera lograr un manejo de esas situaciones.

La realización y el establecimiento de esa tecnología, es lo que nos toca en esta época y es hacia esos objetivos que tienen que orientarse las investigaciones.

Desde el punto de vista de manejo de esos suelos, es imprescindible en función de lo expuesto, tratar de buscar tecnologías que permitan una conservación, y un mantenimiento de la fertilidad de las cosechas, y en esta área, tenemos que darle mayor énfasis a los aspectos de protección, en función de las lluvias tan intensas que se producen en las áreas tropicales, las cuales hay un impacto notable del agua sobre el suelo. Hay además, valores altos de erosión que hay que tratar de evitar así como también las altas temperaturas, para disminuir los índices de mineralización y de destrucción de la materia orgánica.

Cree que hay que aplicar diferentes tipos de rotaciones que permitan una cobertura gradual de esos suelos, para así limitar los peligros arriba enumerados.