

# Características de Tres Suelos Tropicales sobre Caliza bajo Selva en Chiapas, México<sup>1</sup>

A. Campos,\* D. Dubroeuq\*

## ABSTRACT

Field observation and analytical results about three tropical soils beneath rain forest of Chiapas (Mexico) over the same calcareous rock but in two topographic situations, reveal three different evolutions of an old and thick clayey ferrallitic material originated from the intense weathering of the calcic basement. The evolution varies with the forest type and the climate conditions. At 1100 m altitude, beneath a pine-tree forest in a constantly humid climate, the organic topsoil shows a moderate but significant cations reserve and a loss of aluminium. Beneath an evergreen forest in the same conditions the soil shows a high cation desaturation and exchangeable aluminium. At a lower altitude (900 m) in a warmer climate, the soil presents a higher cation exchange capacity and higher contents in ferric and aluminous oxides. Due to a severe mineral deficiency and aluminium toxicity of the soil, Chiapas' forest conservation with control for a sustained timber production is recommended.

**Key words:** Rain forest, exchangeable aluminium, total phosphorus.

## COMPENDIO

El análisis de tres suelos tropicales bajo selva, sobre roca caliza, en Chiapas (Méx.), pero en dos escalones topográficos diferentes, revela tres evoluciones de los suelos a partir de un mismo material arcilloso ferralítico profundo, proveniente de la alteración de la caliza. Cada evolución se debe a un definido tipo de selva y de clima. A una altitud de 1100 m, con un clima permanentemente húmedo bajo el bosque de pinos, se observa una reserva de bases en la capa orgánica y la desaparición del exceso de aluminio, mientras que en el mismo ambiente, bajo la selva perennifolia, se mantiene una fuerte desaturación en bases y cantidades elevadas de aluminio intercambiable. En la zona baja (900 m) más cálida, el suelo presenta mayor capacidad de intercambio catiónico, así como importantes cantidades de óxidos de hierro y aluminio. Debido a las deficiencias minerales y a la toxicidad por el aluminio en los suelos, se recomienda conservar la selva natural de Chiapas y controlar la explotación de la madera.

**Palabras claves:** Selva perennifolia, Al intercambiable, fósforo total.

## INTRODUCCION

Los suelos del trópico húmedo, por su exuberante vegetación (selva alta perennifolia), poseen en apariencia una alta fertilidad. Pero el conocimiento fundamental y práctico de los suelos tropicales revela que no poseen las condiciones requeridas para una producción agrícola.

El principal problema de manejo de los terrenos de la selva tropical radica en la baja fertilidad natural del substrato: pH ácido, contenidos de materia orgánica importantes bajo selva pero no bajo cultivo, niveles altos en aluminio intercambiable y bajos en calcio, magnesio y potasio (7). Su composición mineralógica está dominada por arcillas de baja actividad y una fuerte proporción de óxidos de hierro y aluminio (8). Además

estos suelos tienen la habilidad de retener el fósforo en formas poco solubles ligadas a los óxidos de hierro y aluminio, lo que disminuye el efecto de los fertilizantes fosforados.

Estudios de los suelos tropicales (5) demuestran que las prácticas de sustitución de la vegetación natural por cultivos incrementan la insolación, la temperatura del aire y la del suelo, y disminuyen la humedad global del suelo. Estos cambios pueden perturbar el equilibrio químico y orientar nuevas transformaciones en los minerales.

El presente estudio no pretende analizar de manera exhaustiva todos los componentes químicos y minerales de los suelos tropicales sobre caliza en la región de Chiapas, pero sí indicar cuáles son las principales características que determinan el grado de fertilidad de estos suelos y que pueden orientar las decisiones relacionadas con la conservación del suelo con su cubierta selvática, o con la desforestación para fines de cultivo y de ganadería.

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 6 de febrero de 1991.

\* Instituto de Ecología, A. C., apartado postal no. 63. 91000 Xalapa, Veracruz, Méx.

Medio físico

El área del estudio se ubica en la parte norte de la reserva de la Biosfera de Montes Azules, Chiapas, Méx., en un transecto de 10 km de largo entre el Plan de Ayutla y la Laguna Ocotal (Fig. 1). El substrato geológico está constituido por una caliza del Cretáceo superior, en estratos fuertemente plegados. La precipitación anual suma 3939 mm y la temperatura media anual es de 23° centígrados.

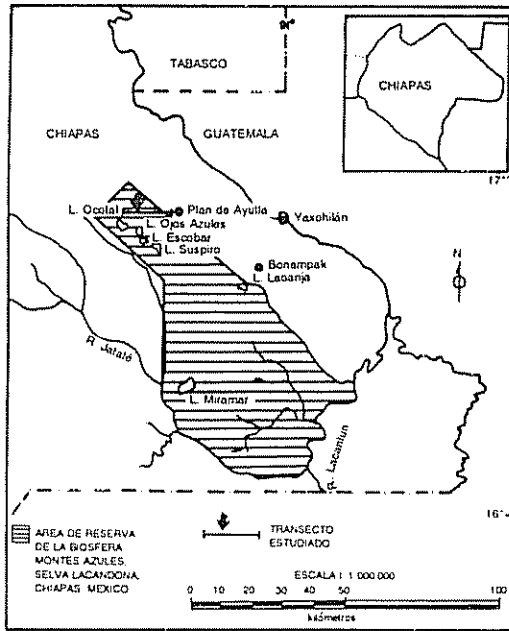


Fig. 1. Localización del transecto Plan de Ayutla-Laguna Ocotal, Chiapas, Méx

El corte topográfico del transecto (Fig. 2) despliega cuatro dominios diferentes de vegetación que corresponden a cuatro segmentos topográficos:

Segmento 1: Nivel superior, altitud 1100 m, microrrelieve suavemente ondulado con desniveles de tres a cinco metros, interrumpido por depresiones cársticas (dolinas) ocupadas por lagunas. Predomina un bosque de pinos (*Pinus oocarpa*) asociados con encinos (*Quercus corrugata*, *Q. skinnerii*).

Segmento 2: Nivel superior, altitud 1100 m, microrrelieve ondulado con desniveles de cinco a diez metros, inclinados según el buzamiento de los estratos. Selva alta perennifolia (*Ceiba pentandra*, *Dialium guineense*), asociada con encinos.

Segmento 3: Escarpe con pendiente suave desde 1100 m hasta 950 m de altitud, microrrelieve cárstico con numerosos afloramientos rocosos, selva alta perennifolia (*Terminalia amazonica*, *Swietenia macrophylla*) con muchos árboles derribados.

Segmento 4: Nivel inferior, altitud 900 m, microrrelieve casi plano, vegetación de selva alta, sustituida en más de la mitad de la superficie por cultivos de café y maíz. Algunos árboles como cubierta de sombra (*Inga leptoloba*, *Manilkara zapota*).

- |                                |                                       |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1 <i>Terminalia amazonia</i>   | 9. <i>Dialium guineense</i>           |
| 2 <i>Manilkara zapota</i>      | 10 <i>Ceiba pentandra</i>             |
| 3 <i>Inga leptoloba</i>        | 11 <i>Bursera simaruba</i>            |
| 4 <i>I. supindioides</i>       | 12 <i>Stemmadenia doneli-amithi</i>   |
| 5 <i>Trema micrantha</i>       | 13 <i>Quararibea funebris</i>         |
| 6 <i>Collea arabica</i>        | 14 <i>Chamaedorea ernesti-augusti</i> |
| 7 <i>Swietenia macrophylla</i> | 15 <i>Ch. elegans</i>                 |
| 8 <i>Brosimum alicastrum</i>   | 16 <i>Quercus sp.</i>                 |
|                                | 17. <i>Pinus sp</i>                   |

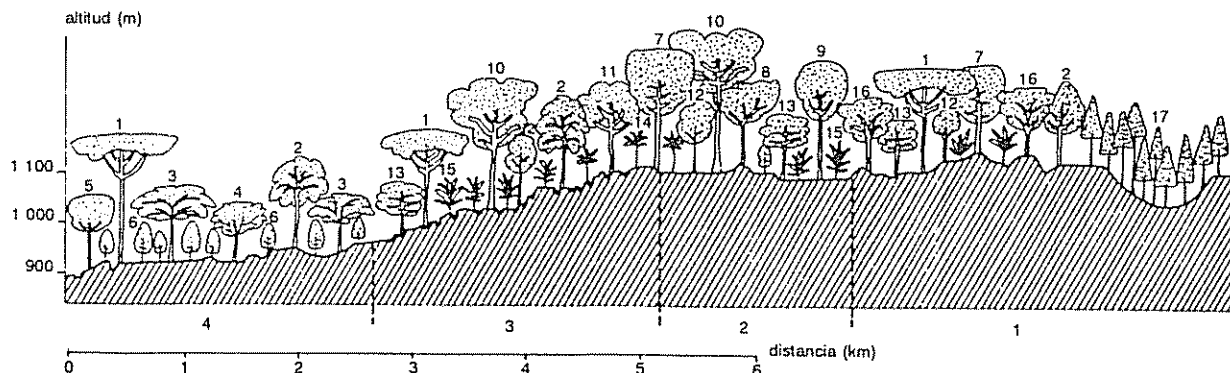


Fig. 2. Corte topográfico con vegetación.

## MATERIALES Y METODOS

Se seleccionaron tres perfiles representativos del suelo de los segmentos 1, 2 y 4 (Fig. 3). En el segmento 3, el suelo se reduce a rendzinas de menos de 50 cm de espesor y no fue muestreado.

A continuación sigue una breve descripción de los suelos:

**Suelo pardo (segmento 1)**

- 0-30 cm: Negro, limo-arcilloso, grumoso muy friable, con materia orgánica abundante, ligada a la fracción mineral.
- 30-44 cm: Pardo oscuro (7.5YR3/4), arcilloso, estructura subangular, friable.
- 44-77 cm: Pardo rojizo oscuro (5YR3/4), arcilloso, poliédrico, escasas concreciones.
- 77-170 cm: Rojo oscuro (10R3/4), arcilloso, poliédrico fino, abundantes concreciones, pocas manchas ocres.

**Suelo amarillo (segmento 2)**

- 0-14 cm: Pardo oscuro, hojarasca con fragmentos de ramillas.

- 14-45 cm: Pardo amarillento (10YR 3/6), arcilloso-limoso, con materia orgánica no discernible, estructura granular, muy friable.
- 45-100 cm: Amarillo (10YR6/8), arcilloso, estructura granular, muy friable.
- 100-150 cm: Amarillo, arcilloso, estructura subangular, friable.

**Suelo rojo (segmento 4)**

- 0-18 cm: Pardo oscuro (7.5YR3/4), arcilloso, estructura granular, con materia orgánica ligada a la fracción mineral.
- 18-42 cm: Pardo oscuro, arcilloso, estructura subangular.
- 42-100 cm: Amarillo rojizo (7.5YR6/8), arcilloso, pegajoso, poliédrico, agregados con caras lisas, manchas de color rojo oscuro (10R3/6), estructura poliédrica con revestimientos de arcilla.

Las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas a dos milímetros. En cada perfil de suelo se efectuaron los siguientes análisis (6):

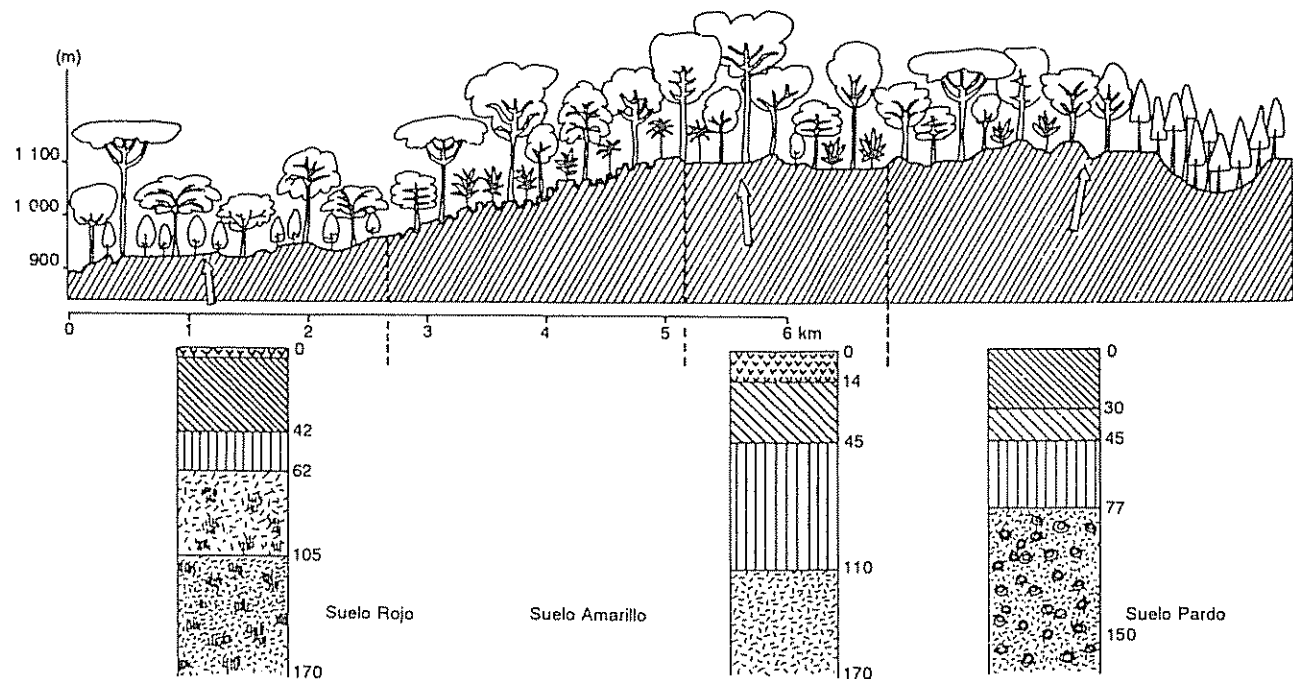


Fig. 3. Corte topográfico de los suelos

- Textura por densimetría en cuatro fracciones (inf. 0.002 mm, 0.002-0.02 mm, 0.02-0.05 mm, 0.05-2 mm) y dispersión con el hexametafosfato de sodio.
- Bases intercambiables con extracción NH<sub>4</sub>OAc.
- Aluminio intercambiable con extracción KCl N, 30 milímetros.
- Elementos totales Si, Al, Fe, con digestión en medio triácido.
- Hierro, aluminio y silicio extractables con el oxalato de amonio en medio ácido (Tamm), selectivo para formas hidratadas y no cristalizadas.
- Fósforo total con digestión en ácido nítrico y determinación por colorimetría.
- Retención de fósforo mediante aplicación de dosis crecientes y cuantificación con el método Bray después de un período de 10 días.

## RESULTADOS

## Textura

Exceptuando a las rendzinas de la zona de transición, en donde permanecen fragmentos rocosos de caliza, la meteorización produce de modo abrupto un suelo casi enteramente arcilloso con 70% a 90% de arcilla (Fig. 4). Sin embargo, los suelos amarillo y pardo, ubicados en el nivel altitudinal superior más húmedo, muestran un mayor contenido en elementos residuales arenosos (Cuadro 1).

## Oxidos

El contenido total de óxidos (hierro y aluminio) es muy elevado y alcanza el 40% del peso de la tierra fina (Cuadro 2). El hierro se mantiene constante alrededor del 10% (Fig. 5), con valores más elevados en el suelo rojo. Se compone en su mayoría de formas cristalizadas, así como lo indican los valores muy bajos de hierro extractable con el oxalato de 0.2% a 0.7% en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Cuadro 2). Estas formas constituyen pseudopartículas en los limos y arenas de la textura.

Cuadro 1. Datos físicos de los suelos pardo, amarillo y rojo sobre caliza bajo suelo en Chiapas (Méx.).

Profundidad (cm)	M.O. (%)	Arena (%)	Limo g. (%)	Limo f. (%)	Arcilla (%)
<b>Suelo pardo</b>					
0-30	11.2	28.0	31.0	10.5	30.5
30-44	5.53	21.0	20.0	11.0	48.0
44-77	0.78	22.0	8.5	8.5	61.0
77-170	0.24	17.0	10.0	6.5	66.5
<b>Suelo amarillo</b>					
0-14	18.0	—	—	—	—
14-45	3.21	31.5	19.5	7.0	42.0
45-100	1.28	26.0	14.0	7.5	52.5
100-150	0.76	14.0	12.0	4.0	70.0
<b>Suelo rojo</b>					
0-18	3.41	19.0	21.0	4.0	56.0
18-42	1.22	8.5	7.0	1.0	83.5
42-100	0.47	4.0	4.0	0.8	91.2
100-160	0.20	5.0	1.25	0	93.7

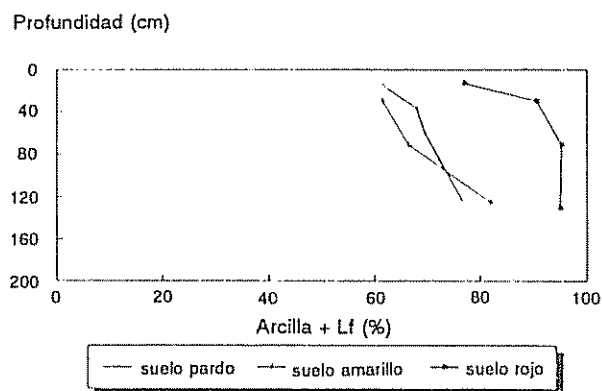


Fig. 4 Fracción fina de los suelos (arcilla y limo fino, 0 - 0.02 mm)

En términos generales, el aluminio es un constituyente de las arcillas y forma el 30% en  $Al_2O_3$  de la fracción fina. Este valor aparece de modo constante a partir de 120 cm de profundidad y luego decrece en los horizontes orgánicos superficiales (Fig. 5). Sin embargo, en el suelo pardo se observa una fuerte

disminución del aluminio total arriba de 80 cm de profundidad, lo que significa un cambio en la constitución mineralógica del suelo.

#### Coefficiente $SiO_2/Al_2O_3$

La relación molecular  $SiO_2/Al_2O_3$  permite evaluar la composición mineralógica de los suelos, comparándola con aquella de la caolinita que presenta un coeficiente de 2. Se constató que abajo de 100 cm de profundidad los tres suelos presentan un coeficiente  $SiO_2/Al_2O_3$  inferior a 2 (Fig. 6), en vez de 2, que requieren las arcillas de tipo caolinita.

En esas condiciones, el aluminio se encuentra en exceso en comparación con el silicio. Las formas amorfas o hidratadas del aluminio extraídas por el oxalato son escasas (Cuadro 2).

Entonces, en estos suelos el aluminio debe encontrarse en formas cristalizadas y también en formas intercambiables. Pero al contrario de los suelos amarillo y rojo, en el suelo pardo, bajo bosque de pinos con

Cuadro 2. Contenidos en óxidos triácido (%) y oxalato de los suelos pardo, amarillo y rojo sobre caliza bajo suelo en Chiapas (Méx.).

Profundidad (cm)	Óxidos triácido (%)			Óxidos oxalato (%)		
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
<b>Suelo pardo</b>						
0-30	05.96	15.65	45.11	00.20	00.60	00.11
30-44	06.43	17.19	50.07	—	—	—
44-77	08.26	12.20	45.85	00.57	00.70	00.11
77-170	08.40	29.56	42.89	00.57	00.75	00.23
<b>Suelo amarillo</b>						
14-45	09.65	19.32	46.59	00.78	01.02	00.04
45-100	08.97	24.90	45.22	00.21	00.66	00.06
100-150	11.74	27.20	39.05	00.78	01.66	00.11
<b>Suelo rojo</b>						
0-18	11.98	26.69	46.76	00.64	00.87	00.06
18-42	10.47	30.16	34.43	00.28	00.64	00.13
42-100	—	—	—	00.28	00.64	00.11
100-160	10.37	30.47	36.13	00.21	00.72	00.19

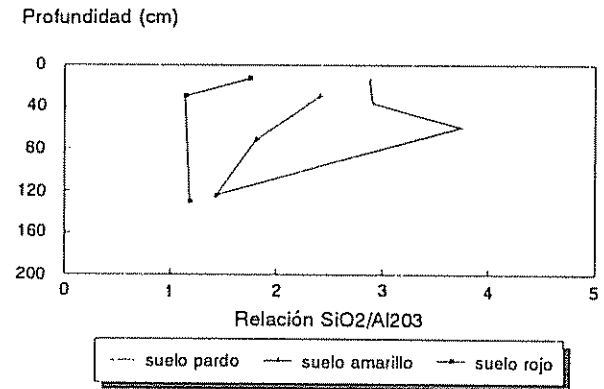
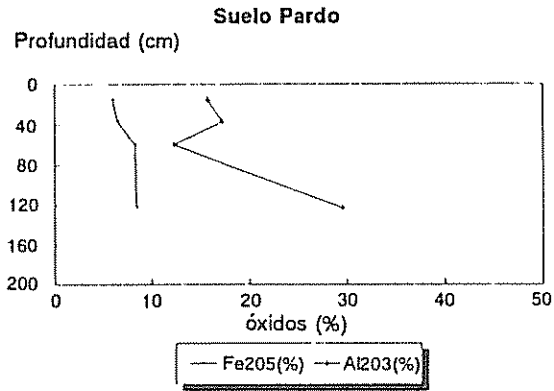
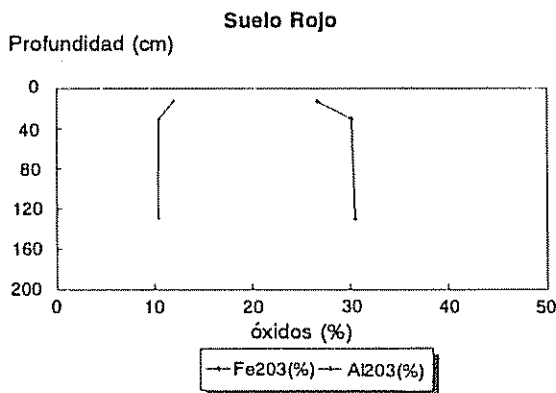
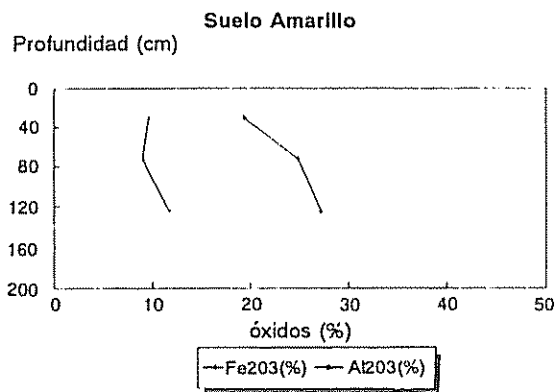
Fig. 6 Variación del coeficiente SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en los suelos

Fig. 5 Contenido de óxidos de Fe y Al en los suelos

afinidades de zona templada, arriba de 80 cm, se presenta una deficiencia de aluminio en comparación con la caolinita, lo que sugiere la presencia de un tipo diferente de arcilla, probablemente un mineral más rico en SiO<sub>2</sub> y de baja actividad (vermiculita).

### Bases intercambiables

Los suelos amarillo y rojo tienen el mayor contenido de aluminio intercambiable, que alcanza en el caso del suelo amarillo más del doble de las otras bases (Fig. 7). En aquellos dos suelos, el aluminio intercambiable llega a niveles tóxicos para la mayoría de los cultivos. El suelo pardo no presenta ninguna toxicidad por el aluminio, excepto en la parte profunda del perfil (Cuadro 3).

En general, la reserva mineral se mantiene muy baja, alrededor de 2 mEq/100 g, por causa de arcillas de baja actividad en un ambiente tropical húmedo. Pero se observan (Fig. 7) dos variaciones sobre el tema: el suelo pardo bajo bosque de pinos presenta una mayor cantidad de bases (5.5 mEq/100 g) en la capa superficial, donde se acumula la materia orgánica; y el suelo rojo bajo bosque tropical sustituido por el café presenta una mayor saturación en bases con una mayor capacidad de intercambio (Cuadro 3). La evolución del suelo pardo resulta de una descomposición más lenta de la materia orgánica, lo que facilita su acumulación, tal como se observa en la hojarasca de pinos.

La evolución del suelo rojo se debe a una menor lixiviación de las bases, que ocurre en condiciones climáticas tropicales con menos precipitaciones o también más cálidas o de mayor evaporación. En suelos similares de Cuba, se reportó el aumento del porcentaje de saturación y la disminución del aluminio intercambiable en relación con un clima tropical con estación seca y cálida (2). El aumento de la capacidad de intercambio catiónico es un efecto de las arcillas de moderada actividad, pero con la misma composición mineralógica que la caolinita, es decir arcillas 1/1, probablemente de tipo metahalosita. Datos similares fueron encontrados en suelos de Guatemala, en la región del Petén, donde se identificaron metahalositas (1).

Cuadro 3. Datos químicos de los suelos pardo, amarillo y rojo sobre caliza bajo suelo en Chiapas (Méx.).

Profundidad (cm)	pH H <sub>2</sub> O	Elementos int. mEq/100 g					CIC efectiva mEq/100 g	p total (ppm)
		Ca	Mg	Na	K	Al		
<b>Suelo pardo</b>								
0-30	5.20	3.20	1.92	0.12	0.18	0.58	6.54	613
30-44	5.15	1.20	0.56	0.14	0.06	—	—	—
44-77	5.35	0.64	0.16	0.14	0.02	0.52	1.82	156
77-170	5.60	0.88	0.32	0.14	0.05	1.18	2.93	276
<b>Suelo amarillo</b>								
0-14	4.35	5.76	1.52	0.24	0.41	—	—	—
14-45	4.95	0.80	0.50	0.17	0.06	2.17	3.84	236
45-100	5.10	0.88	0.32	0.14	0.04	2.65	4.41	187
100-150	5.15	0.72	0.24	0.12	0.07	3.31	4.80	189
<b>Suelo rojo</b>								
0-18	5.80	10.0	2.72	0.12	0.28	0.10	13.31	427
18-42	5.35	6.72	2.16	0.17	0.19	0.21	9.53	250
42-100	5.20	3.76	1.36	0.14	0.19	3.23	8.68	170
100-160	5.30	3.20	1.52	0.14	0.19	2.32	7.83	—

### Fósforo

Las curvas de retención de fósforo (Fig. 8) se relacionan con las del aluminio intercambiable. En el suelo pardo y en el suelo amarillo se observa una leve disponibilidad de fósforo, una vez que se neutraliza el aluminio intercambiable (1.2 mEq/100 g) con 1500 ppm de fósforo adicional. El suelo rojo en su parte superior no muestra aluminio intercambiable y el fósforo se libera rápidamente arriba de 500 ppm adicionales, pero no logra neutralizar las cantidades de aluminio (3.2 mEq/100 g) existentes en la parte inferior del suelo (Fig. 8).

Cabe mencionar que el fosfato de aluminio es más soluble que el de hierro a pH ácido y todavía más que el fosfato de calcio completamente insoluble en medio ácido (3). Esto explicaría la fuerte retención de fósforo en la parte inferior del suelo rojo, que contiene más hierro y calcio disponibles para formar fosfatos, en comparación con los dos otros suelos, en los cuales solamente el aluminio está disponible.

### CONCLUSIONES

Los tres suelos presentan características similares: arcillas de baja o moderada actividad, exceso de aluminio, pobreza en bases y acidez. Traducen una evolución de tipo ferralítico en un material profundo y arcilloso, proveniente de la meteorización de las calizas. Tal grado de alteración, por su espesor y su intensidad, no puede haberse iniciado en el Holoceno, sino desde tiempos remotos. Actualmente se diferencian tres evoluciones, entre las cuales dos pertenecen a zonas de altitud y una a zonas más bajas y cálidas (Fig. 2).

En las zonas de altitud con humedad permanente se diversifica la cubierta vegetal entre dos extremos: un bosque de pinos con caracteres de zona templada y una selva tropical alta perennifolia. En cada extremo, se observa una evolución diferente del suelo: bajo el bosque de pinos, a favor de una hojarasca con descomposición lenta, se observa la formación de horizontes orgánicos espesos que mantienen una cierta reserva de bases. Este medio orienta la evolución mineralógica superficial hacia una deficiencia en

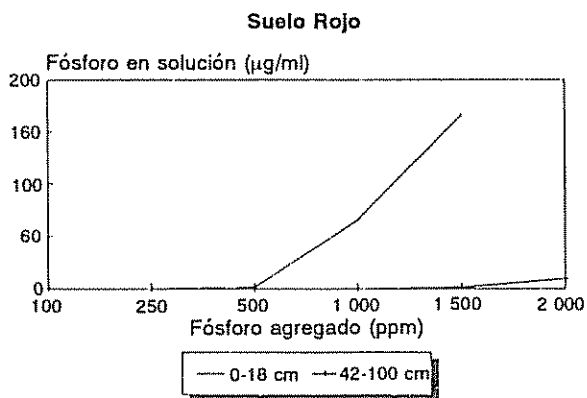
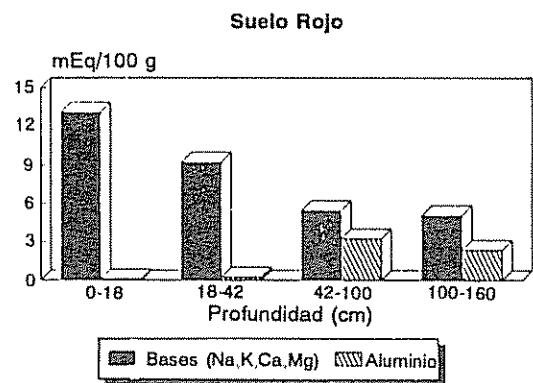
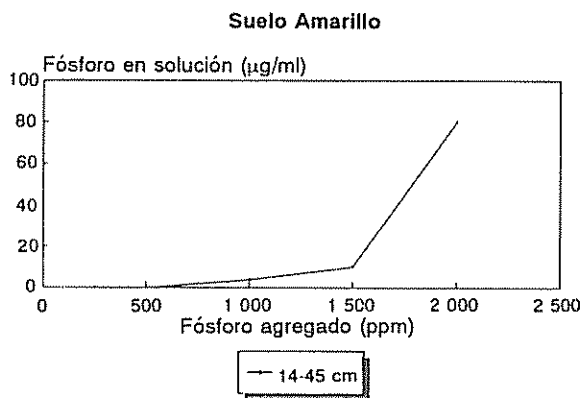
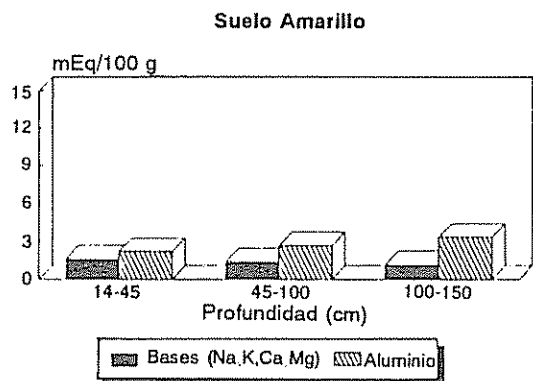
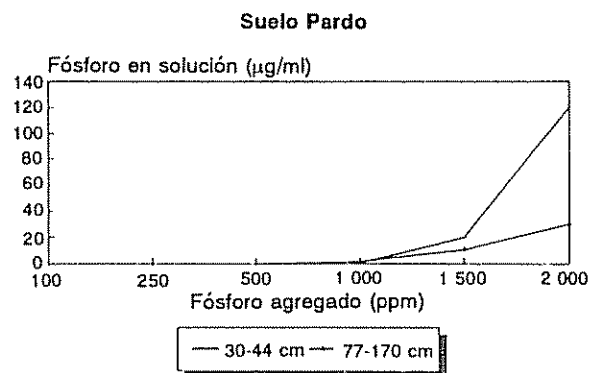
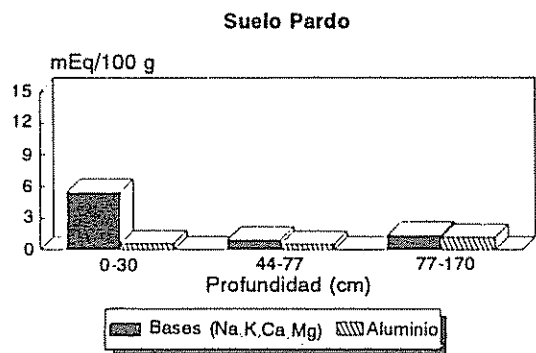


Fig. 7. Contenidos de bases intercambiables

Fig. 8. Retención de fósforo en los suelos.

aluminio y la presencia de arcillas probablemente de tipo vermiculita. Bajo la selva perennifolia se observa una rápida descomposición de la materia orgánica, una intensa lixiviación de las bases y correlativamente altos contenidos de aluminio intercambiable. La evolución mineralógica se orienta hacia la permanencia de arcillas ricas en aluminio y de baja actividad, tales como la caolinita.

En la zona baja y más cálida, el suelo presenta una evolución diferente, que se distingue por un mayor contenido general en bases, una acumulación incipiente de óxidos cristalizados de hierro y aluminio y un equilibrio mineralógico con arcilla rica en aluminio, pero de moderada actividad, probablemente metahalosita. Esta evolución traduce la influencia de un cambio climático de tropical siempre húmedo a tropical con



estación seca. En la profundidad del suelo reaparecen los rasgos del suelo ferralítico inicial, es decir, arcillas de baja actividad, desaturación y aumento en aluminio intercambiable.

Tales suelos no se lograrían cultivar sin inversiones muy costosas. El primer obstáculo radica en los altos niveles de aluminio intercambiable, tóxicos para la mayoría de los cultivos. El aluminio tiende a acumularse en las raíces formando sitios muertos y engrosamientos, impidiendo la absorción y el traslado del calcio y del fósforo a la parte aérea (7).

El segundo obstáculo aparece en los suelos al sustituir la selva por cultivos de poca biomasa aérea. Bajo selva las reservas de nutrientes se localizan en los horizontes orgánicos (ejemplos del suelo pardo y del suelo amarillo) y se mantienen a través de un ciclo de degradación biológica de la materia orgánica bruta suministrada por la biomasa vegetal viva. Al destruirse la selva se rompe el ciclo y se observa una disminución de la capa orgánica y una acidificación del suelo, debido a la lixiviación acelerada de los nutrientes, ya no reciclados por la alfombra de raíces del bosque (4).

El tercer obstáculo ha sido claramente evaluado anteriormente: se trata de la deficiencia de fósforo y la imposibilidad de corregirla con fertilizantes. Esta carencia se añade al desequilibrio mineral en potasio observado en los análisis (Cuadro 3).

El cuarto obstáculo es la erosión, como consecuencia a largo plazo de los efectos de la radiación solar y la de la desecación sobre el suelo, desprovisto de su cobertura arbórea natural. Los óxidos de hierro componen 10% de la fracción fina del suelo y los de aluminio entran como componente mayor de la fracción mineral. Cuando se deshidrata el suelo, la cristalización de los óxidos se acentúa hasta modificar las características físicas del material. La susceptibilidad a la erosión aumenta, generalmente eviden-

ciada a su inicio por la formación de un horizonte superior cluviado sin consistencia y de color claro.

En consecuencia, frente a las perspectivas de una muy baja rentabilidad agrícola, estas tierras tendrían un mejor aprovechamiento si se conserva la vegetación selvática y se explota la madera de manera controlada.

#### LITERATURA CITADA

1. BAK, H. 1977. Estudio de reconocimiento de suelos. Yachilan, Petén, Gua.
2. BOSCH, D.; CAMACHO, E.; SEGALÉN, P. 1983. Etude de quelques sols de Cuba et en particulier de sols ferrallitiques. 2. Les sols ferrallitiques typiques rouges dans les plaines des parties centrale et occidentale de Cuba. Cahiers ORSTOM: Série Pédologie (Francia) 19(3):205-219.
3. DABIN, B. 1985. Les sols tropicaux acides. Cahiers ORSTOM: Série Pédologie (Francia) 21(1):7-19.
4. KANG, B. I.; FOX, R. L. 1981. Management of the soils for continuous production: Controlling the nutrient status. In Characterization of soils. Oxford University Press.
5. LAI, R. 1981. Management of the soils for continuous production: Controlling erosion and maintaining physical condition. In Characterization of soils. Oxford University Press.
6. METHODS OF soil analysis. 1982. II. Chemical and microbiological properties. 2 ed. A. L. Page (Ed). Madison, Wis., ASA, SSSA. Agronomy Series no. 9.
7. SANCHEZ, P. A. 1981. Soil management in the oxisol savannahs and ultisol jungles of tropical South America. In Characterization of soils. Oxford University Press.
8. UEHARA, G.; KENG, J. 1975. Management implications of soil mineralogy in Latin America. In Soil management in tropical America. Raleigh, North Carolina State University.