

**GENESIS COMPARATIVA DE LOS SUELOS
DESARROLLADOS SOBRE UNA SECUENCIA
CRONOLOGICA DE TERRAZAS ALUVIALES
EN LOS TROPICOS HUMEDOS, COSTA RICA**

Tesis de Grado de Magister Scientiae

Mário Sérgio Vaz Cabeda

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Departamento de Desarrollo Rural
Turrialba, Costa Rica
Junio, 1970

GENESIS COMPARATIVA DE LOS SUELOS DESARROLLADOS SOBRE UNA
SECUENCIA CRONOLOGICA DE TERRAZAS ALUVIALES
EN LOS TROPICOS HUMEDOS, COSTA RICA

Tesis

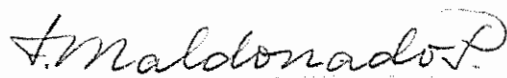
Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados
como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:



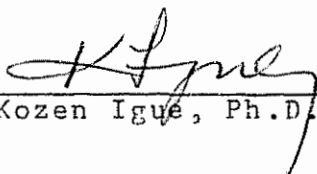
Fausto Maldonado, Ing. Agr.

Consejero



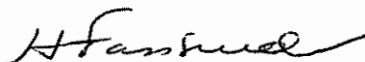
Ellis Knox, Ph.D.

Comité



Kozen Igue, Ph.D.

Comité



Hans Fassbender, Dr. Cien. Agr.

Comité

Junio, 1970

A ADA,
mi madre

A GRACE,
mi compañera

AGRADECIMIENTO

Agradezco

a mis consejeros Fausto Maldonado, Ellis Knox, Kozen Igue y Hans Fassbender por lo que dieron de sí para la realización de este trabajo,

a mis profesores, compañeros y amigos por su forma anónima de colaboración,

a la Fundación Rotaria y al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA por las becas de estudio que me otorgaron.

Mário Sérgio Vaz Cabeda

BIOGRAFIA

El autor nació el 28 de diciembre de 1943 en São Gabriel, Rio Grande do Sul, Brasil.

Cursó sus estudios universitarios de 1963 a 1966 en la "Faculdade de Agronomia e Veterinária da Universidade Federal do Rio Grande do Sul", Pôrto Alegre, graduándose de Ingeniero Agrônomo.

En la Institución mencionada fue Auxiliar de Investigación en Microbiología del Suelo, de 1967 a 1968.

Realizó sus estudios de postgrado en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, Costa Rica, de 1968 a 1970.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	2
2.1 Características del área de estudio.....	2
2.2 Ferralitización y pedogénesis.....	4
2.3 Geogénesis y pedogénesis.....	7
3. MATERIALES Y METODOS.....	9
3.1 Interpretación de aerofotografías.....	9
3.2 Localización de los perfiles.....	9
3.3 Descripción de los perfiles y toma de muestras.....	9
3.4 Preparación de las muestras.....	10
3.5 Análisis físicos.....	10
3.5.1 Humedad de las muestras secadas al aire.....	10
3.5.2 Densidad aparente.....	10
3.5.3 Densidad de partículas.....	10
3.5.4 Distribución de tamaño de partículas.....	11
3.5.5 Humedad retenida a 15 bares.....	11
3.5.6 Arcilla dispersada en agua.....	11
3.6 Análisis químicos.....	11
3.6.1 pH.....	11
3.6.2 Materia orgánica.....	12
3.6.3 Oxidos libres de hierro.....	12
3.6.4 Oxidos libres de aluminio.....	12
3.6.5 Capacidad de intercambio de cationes del suelo...	12
3.6.6 Bases cambiables.....	13
3.6.7 Aluminio cambiabile.....	13
4. RESULTADOS.....	14
4.1 Perfil 1.....	14
4.2 Perfil 2.....	16
4.3 Perfil 3.....	18
4.4 Perfil 4.....	20
4.5 Perfil 5.....	23
4.6 Perfil 6.....	24
4.7 Perfil 7.....	27
4.8 Perfil 8.....	28

5. DISCUSION.....	43
6. CONCLUSIONES.....	51
SUMARIO.....	52
SUMMARY.....	53
LITERATURA CITADA.....	54

LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro</u>		<u>Página</u>
1	Características físicas del perfil 1.....	31
2	Características químicas del perfil 1.....	32
3	Características físicas del perfil 2.....	33
4	Características químicas del perfil 2.....	34
5	Características físicas del perfil 3.....	35
6	Características químicas del perfil 3.....	36
7	Características físicas del perfil 4.....	37
8	Características químicas del perfil 4.....	38
9	Características físicas y químicas del perfil 5.....	39
10	Características físicas y químicas del perfil 6.....	40
11	Características físicas y químicas del perfil 7.....	41
12	Características físicas y químicas del perfil 8.....	42

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Area de estudio.....	3
2	Localización de las terrazas y ubicación de los perfiles.....	5
3	Corte A-B.....	5
4	Principales diferencias físicas y químicas entre los perfiles 2 y 6 en función de su profundidad.....	48

1. INTRODUCCION

Es bastante evidente en nuestros días que todos los planes para el desarrollo deben fundamentarse en un conocimiento amplio y profundo de los recursos que existen en una determinada región, principalmente de los recursos naturales.

El recurso natural suelo es el elemento fundamental de la producción agrícola y el factor ecológico que soporta las mejoras y las modificaciones más importantes, lo que se manifiesta rápidamente en producciones más elevadas.

El inventario y la evaluación de los suelos asume un aspecto crítico siempre que se quiera sentar bases para el desarrollo económico de la agricultura. Es imprescindible conocer cómo actúan los factores y los procesos pedogenéticos, de manera que se pueda comprender por qué los suelos difieren en sus propiedades y en su productividad y de manera que se pueda determinar cómo ellos deben ser utilizados.

Los estudios de pedogénesis aportan fundamentos técnicos para la clasificación y la cartografía de los suelos y para la planificación del desarrollo agrícola. Con base en la importancia de estos estudios, el objeto de la presente investigación es la caracterización de los tipos de suelos existentes en un área seleccionada, el establecimiento comparativo de la génesis de estos suelos, su clasificación y cartografía.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Características del área de estudio

El área de estudio se localiza en el valle de El General, al sur-sureste de San Isidro, entre el río Pacuar y el río General (figura 1).

Coen (7) clasifica el clima del área como lluvioso con influencia monzónica. El promedio anual de precipitación pluviométrica es aproximadamente 2.900 mm. En el período seco, que comprende los meses de enero, febrero y marzo, precipita un promedio anual inferior a 70 mm. El promedio mensual de temperatura es aproximadamente 23°C y la oscilación térmica mensual entre máxima y mínima se acerca a 10°C (10).

Holdridge (21) sitúa ecológicamente el área en la zona de vida del bosque tropical húmedo. Las sabanas deben su formación a la tala del bosque, a quemas continuas y a condiciones edáficas especiales.

Dengo (11), Dóndoli (14) y Weyl (37) hicieron estudios geológicos en el área y definen la siguiente secuencia estratigráfica (figura 3): caliza numulítica del eoceno, arcillas y areniscas marinas del oligo-mioceno, aluviones del plio-pleistoceno y aluviones del holoceno.

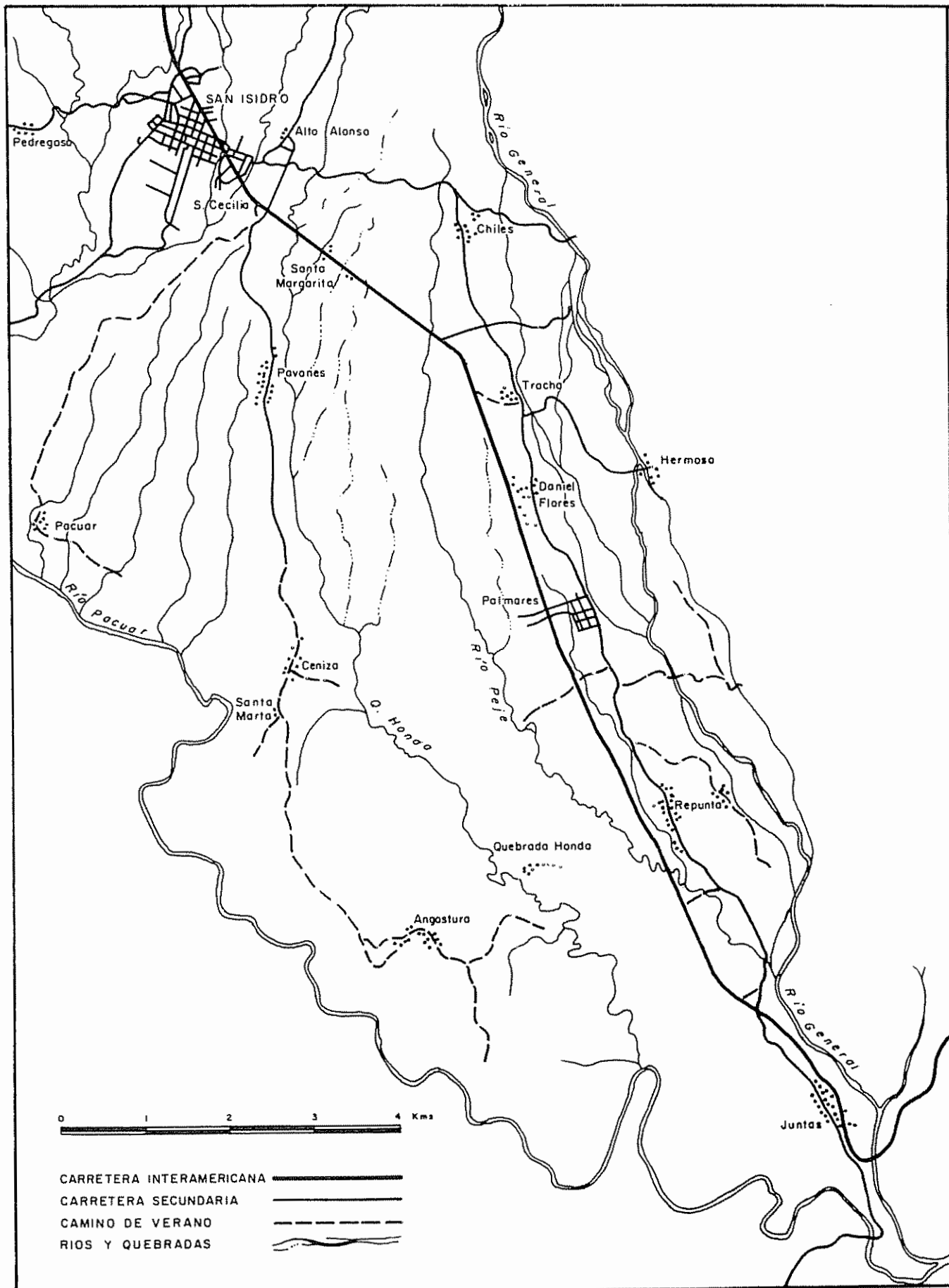


FIGURA I — AREA DE ESTUDIO —

Los aluviones, depositados por el río General, están formados principalmente por granodiorita y andesita-basalto (11, 14, 36), elementos litológicos que la erosión fluvial desprendió al actuar sobre las masas rocosas de la cordillera de Talamanca.

Geomorfológicamente el área representa una antigua depresión tectónica que ha sufrido levantamientos sucesivos a lo largo de fallas (17, 37). Estos levantamientos, al romper los perfiles de equilibrio del sistema fluvial, originaron la formación de cuatro niveles de terrazas (figura 2). Los niveles superior, medio-superior y medio-inferior son plio-pleistocénicos y el nivel inferior es holocénico.

2.2 Ferralitización y pedogénesis

La ferralitización caracteriza la evolución genética de los suelos de libre drenaje interno y no expuestos a procesos de rejuvenecimiento, localizados en regiones tropicales y húmedas. Condiciones de alta humedad del suelo durante la mayor parte del año, de libre percolación del agua y de alta temperatura, permiten que los procesos pedogenéticos sean intensos y rápidos. La temperatura alta del medio es responsable de una mayor ionización del agua, de su mayor poder hidrolítico, de una mayor solubilidad de la sílice, de una mayor rapidez en el procesamiento de soluciones y de una menor cantidad de dióxido de carbono que penetra en el suelo (3, 6).

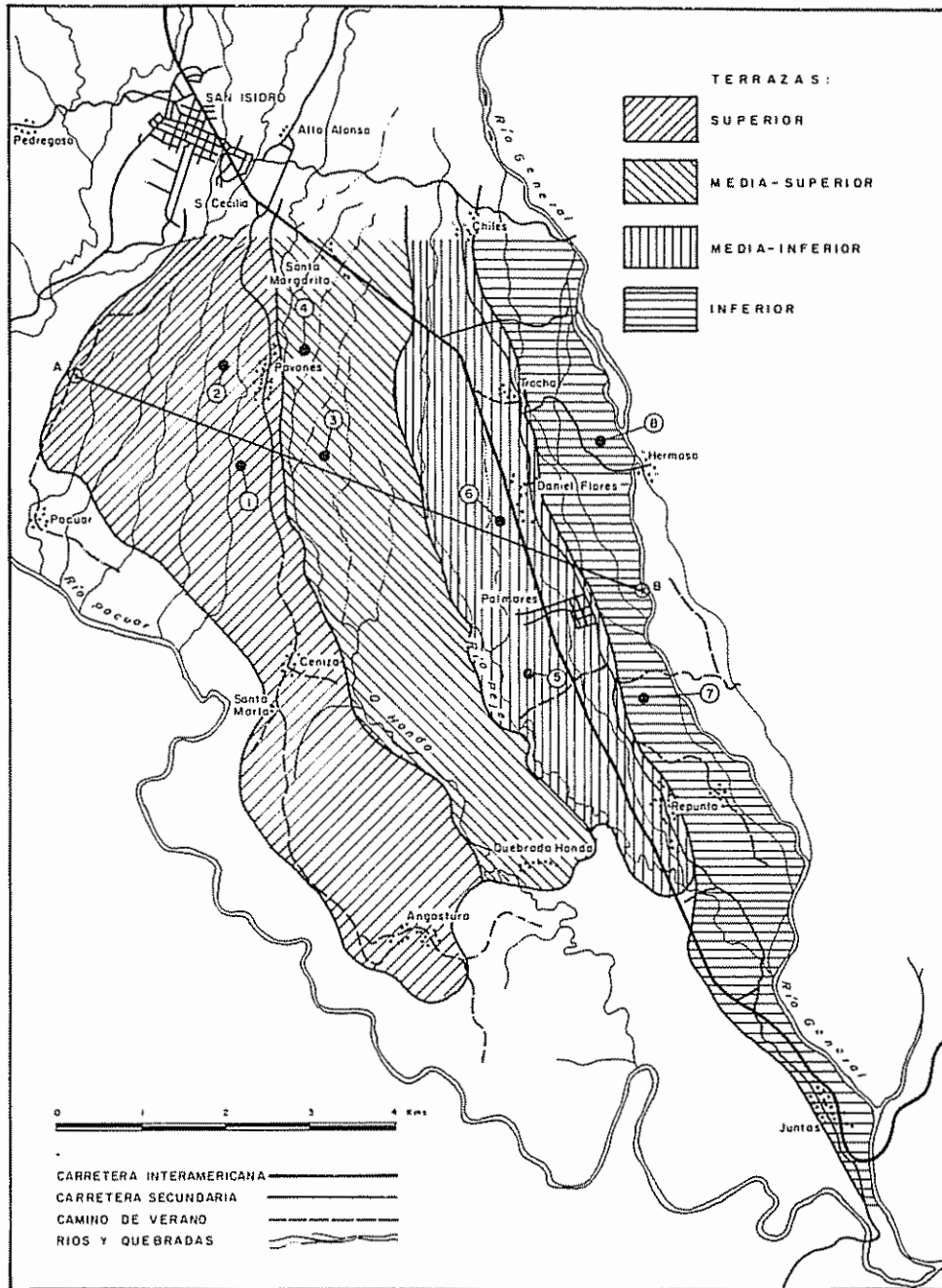


FIGURA 2 - DELIMITACION DE LAS TERRAZAS Y UBICACION DE LOS PERFILES -

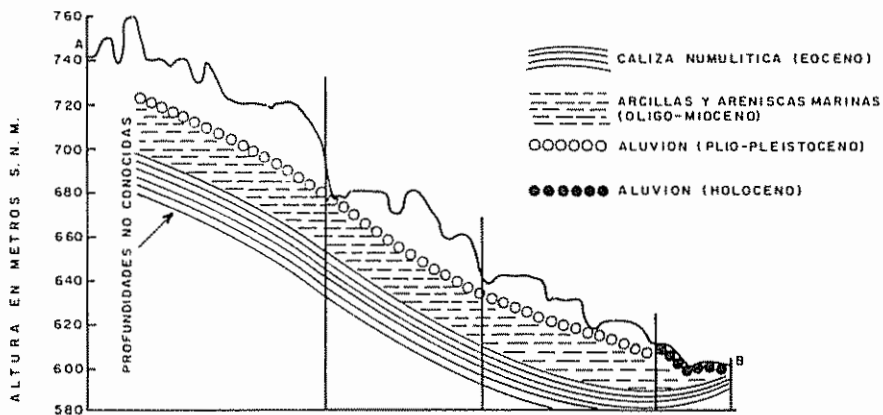


FIGURA 3 - CORTE A-B -

Según Aubert (2), Buringh (6), D'Hoore (12), Duchaufour (15) y Kellog (24), estas condiciones conducen a una alteración extremadamente avanzada del material originario del suelo, a una pérdida de bases y de sílice por lixiviación, a una acumulación relativa de sesquióxidos de hierro y de aluminio y a una neosíntesis caolinítica.

Duchaufour (16) observa que la ferralitización consiste en una fase de hidrólisis total y en una fase de neosíntesis más o menos notable.

Estudios de Keller (23) y de Pedro y Lelong, según cita Duchaufour (16), evidencian que el material originario sufre una hidrólisis neutra o alcalina, provocada por una abundante percolación de agua pobre en dióxidos de carbono y en ácidos orgánicos solubles y por una rápida liberación de bases. El hierro se insolubiliza y se mantiene integralmente en el perfil; la sílice y las bases, en solución, se lixivian; el aluminio, lixiviado inicialmente a causa de la fuerte alcalinidad del medio, se insolubiliza y se mantiene en el perfil en función del rápido descenso del pH, consecuencia de la pérdida de las bases.

La neosíntesis de minerales secundarios depende de las condiciones internas de drenaje del medio y del contenido de cationes divalentes de la solución del suelo, reflejado en su pH (16). Debido a que la solución del suelo pierde sus bases y se acidifica rápidamente en el transcurso de la alteración ferralítica, los

minerales secundarios de neosíntesis pasan a depender estrechamente de las condiciones internas de drenaje del medio.

En condiciones de drenaje moderado, la sílice es débilmente lixiviada; consecuencia de la acidez del medio, la afinidad del gel alumínico por la sílice es reducida, lo que conduce a una exclusiva neosíntesis caolinítica (1, 16). En condiciones de drenaje rápido, la sílice es fuertemente lixiviada; como consecuencia, el medio se mantiene extremadamente pobre en sílice y el gel alumínico se mantiene libre, lo que conduce a una neosíntesis de gibsita (16, 27).

El grado de ferralitización actual de un suelo de libre drenaje interno, no expuesto a procesos de rejuvenecimiento y localizado en zona de clima tropical y húmedo es función del tipo de material originario y del tiempo en que actuaron los procesos pedogenéticos (16, 27).

2.3 Geogénesis y pedogénesis

Pons y Zonneveld (30) observan la dificultad de distinción entre los procesos de geogénesis y de pedogénesis, fundamentados en el estudio de suelos aluviales muy recientes.

Considerando el caso de una llanura fluvial inundable, esta dificultad de distinción desaparece en el momento en que la región sufre un levantamiento geológico, rompiendo el perfil de equilibrio del río. Como consecuencia, la llanura fluvial pasa

a ser una terraza no inundable y empiezan efectivamente los procesos pedogenéticos.

Los procesos iniciales de formación del suelo son primariamente influidos por la temperatura del medio, por la precipitación pluviométrica y por el drenaje interno del suelo y secundariamente por la actividad biológica y por la naturaleza del material originario. Estos factores determinan la rapidez y la intensidad de las reacciones químicas, de la liberación de los elementos, de la lixiviación y de la neosíntesis (15).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Interpretación de aerofotografías

El área de estudio está cubierta por aerofotografías pancromáticas y verticales de escala aproximada 1:60.000, tomadas en 1957.

Se interpretaron estas aerofotografías y se determinaron cuatro niveles de terrazas (figura 2), cuyos límites se definieron sobre el mapa topográfico del área (8, 9).

3.2 Localización de los perfiles

Se procedió a un recorrido general del área de estudio, en el cual se verificaron las observaciones hechas en las aerofotografías y se señalaron los sitios apropiados para la localización de los perfiles.

La superficie geomórfica más estable dentro del paisaje, la falta de influencia humana y la condición normal de los suelos de la terraza considerada proporcionaron las características de un sitio apropiado.

Se localizaron dos perfiles por terraza (figura 2).

3.3. Descripción de los perfiles y toma de muestras

Se excavaron calicatas y se describieron los perfiles de acuerdo a las técnicas recomendadas por la FAO (28) y por el

"Soil Survey Manual" (33). Se tomaron muestras de la parte central de cada horizonte.

3.4 Preparación de las muestras

Se secaron las muestras al aire y bajo sombra y se pasaron por un tamiz de 2 mm de malla, después de trituradas suavemente. Se homogenizaron las muestras.

3.5 Análisis físicos

3.5.1 Humedad de las muestras secadas al aire

Se determinó el contenido de humedad de las muestras por gravimetría, con secamiento al horno (20). El objeto fue expresar los resultados con base en masa de suelo seca al horno.

3.5.2 Densidad aparente

Se siguió la técnica descrita por Blake (4), fundamentada en la utilización de un cilindro metálico de volumen conocido para obtener muestras de suelo no disturbadas.

3.5.3 Densidad de partículas

Se siguió la técnica descrita por Forsythe (19), fundamentada en la utilización de un fluido no polar para la determinación del volumen ocupado por las partículas de suelo.

3.5.4 Distribución de tamaño de partículas

Se siguió la técnica descrita por Forsythe (18), basada en el método del hidrómetro modificado por Day.

Se separaron las fracciones de arena mediante el uso de un juego apropiado de tamices (35).

3.5.5 Humedad retenida a 15 bares

Se siguió la técnica descrita por Richards (31), fundamentada en la utilización de una cámara de presión y de un plato cerámico y poroso para extraer el agua de la muestra del suelo, hasta equilibrio con la presión que se desea.

3.5.6 Arcilla dispersada en agua

Se siguió la técnica descrita por Macías (25), fundamentada en agitar una suspensión suelo-agua por 16 horas (34) y dejarla en reposo por 3,30 horas (22) para obtener la fracción dispersada.

3.6 Análisis químicos

3.6.1 pH

Se siguieron las técnicas descritas por Peech (29) para determinar el pH del suelo en agua y en cloruro de calcio centimolar.

Se tomaron las medidas de un potenciómetro Beckman de electrodos de vidrio, modelo 96.

3.6.2 Materia orgánica

Se siguió la técnica descrita por Saíz del Río y Bornemisza (32), basada en el método de Walkley y Black: se oxidó la materia orgánica con dicromato de potasio en presencia de ácido sulfúrico y se determinó el exceso de dicromato con sal de Mohr.

3.6.3 Oxidos libres de hierro

Se siguió la técnica descrita por Bornemisza e Igue (5), basada en el método de Kilmer: se extrajeron los óxidos por reducción con ditionito de sodio y consecuentè solución y se determinó el hierro en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer, modelo 303.

3.6.4 Oxidos libres de aluminio

Se siguió la técnica descrita por Bornemisza e Igue (5), basada en el método de Hashimoto y Jackson: se extrajeron los óxidos por disolución en hidróxido de sodio y se determinó el aluminio por colorimetría, con aluminona. Se tomaron las lecturas en un espectrofotómetro Coleman, modelo 64.

3.6.5 Capacidad de intercambio de cationes del suelo

Se siguió la técnica descrita por Díaz-Romeu y Balerdi (13), basada en el método de Bower et al: se saturó el suelo con amonio mediante el uso de acetato de amonio normal con pH 7 y se midió la cantidad retenida por las cargas negativas del suelo.

3.6.6 Bases cambiables

Se siguió la técnica descrita por Díaz-Romeu y Balerdi (13), basada en el método de Bower et al: al saturarse el suelo con amonio para la determinación de su capacidad de intercambio de cationes, se desplazaron las bases cambiables, que fueron determinadas en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer, modelo 303.

3.6.7 Aluminio cambiabile

Se siguió la técnica descrita por McLean (26), fundamentada en la extracción de aluminio por cloruro de potasio normal. Se determinó el aluminio por colorimetría, con aluminona, tomándose las lecturas en un espectrofotómetro Coleman, modelo 64.

4. RESULTADOS

4.1 Perfil 1

4.1.1 Información acerca del sitio de la muestra

Ubicación: carretera San Isidro-Ceniza, 5 Km al sur de San Isidro y 500 m al oeste de la carretera. Aproximadamente 9° 20' 24" N, 83° 42' 4" O.

Altitud: 720 m sobre el nivel medio del mar.

Forma del terreno circundante: fuertemente ondulada, 8% a 16% de pendiente.

Pendiente donde el perfil está situado: 0% a 2% de inclinación.

Vegetación: arbustos semileñosos y pastos no cultivados, con predominio de gramineas. Claras evidencias de que el bosque secundario fue talado recientemente.

Clase de drenaje: bien drenada.

Condiciones actuales de humedad del perfil: húmedo en toda su profundidad.

4.1.2 Descripción de los horizontes

- A11 0-5 cm Negro (N 2/0) en húmedo; arcilla; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástica, firme; límite neto, plano.
- A12 5-10 cm Pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo; arcilla: estructura en bloques subangulares, mediana, moderada, que se deshace en estructura granular, muy fina; ligeramente adherente, ligeramente plástica, friable; límite neto, plano.
- B1 10-28 cm Rojo-amarillento (5YP 4/8) en húmedo; arcilla; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada; adherente, ligeramente plástica, firme; límite neto, ondulado.
- B21 28-48 cm Rojo (2,5YP 5/6) en húmedo; lenguas verticales de color pardo fuerte (7,5 YR 5/6) en húmedo, muchas, grandes, definidas; arcilla; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada, que se deshace en estructura de bloques angulares, muy fina, moderada; adherente, ligeramente plástica, firme; ausencia de cutanes; límite gradual, ondulado.

B22 48-160 cm+ Rojo (2,5YR 4/6) en húmedo; lenguas verticales de color pardo fuerte (7,5YR 5/6) en húmedo, muchas, grandes, definidas; arcilla; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada, que se deshace en estructura de bloques angulares, muy fina, moderada; adherente, ligeramente plástica, firme; ausencia de cutanes.

4.2 Perfil 2

4.2.1 Información acerca del sitio de la muestra

Ubicación: carretera San Isidro-Ceniza, 3 Km al sur de San Isidro y 750 m al oeste de la carretera. Aproximadamente 9° 21' N, 83° 42' 15" O.

Altitud: 730 m sobre el nivel medio del mar.

Forma del terreno circundante: fuertemente ondulada, 8% a 16% de pendiente.

Pendiente donde el perfil está situado: 0% a 2% de inclinación.

Vegetación: arbustos semileñosos y pastos no cultivados, con predominio de gramineas.

Clase de drenaje: bien drenada.

Condiciones actuales de humedad del perfil: húmedo en toda su profundidad.

4.2.2 Descripción de los horizontes

- A11 0-8 cm Pardo-grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; arcilla; estructura en bloques subangulares, fina, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástica, friable; límite neto, plano.
- A12 8-14 cm Pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo; arcilla; estructura en bloques subangulares, fina, moderada, que se deshace en estructura granular, muy fina; ligeramente adherente, ligeramente plástica, friable; límite neto, plano.
- B1 14-34 cm Rojo-amarillento (5YR 4/8) en húmedo; arcilla; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada, adherente, ligeramente plástica, firme; muy pocos fragmentos lateríticos planos, con 2 cm de máxima dimensión, en la parte superior del horizonte; límite neto ondulado.

B21 34-57 cm Rojo (2,5YR 5/6) en húmedo; lenguas verticales de color pardo fuerte (7,5YR 5/6) en húmedo, muchas, grandes, definidas; arcilla; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada, que se deshace en estructura de bloques angulares, muy fina, moderada; adherente, ligeramente plástica, firme; ausencia de cutanes; límite gradual, ondulado.

B22 57-165 cm+ Rojo (2,5YR 4/6) en húmedo; lenguas verticales de color pardo fuerte (7,5YR 5/6) en húmedo, muchas, grandes, definidas; arcilla; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada, que se deshace en estructura de bloques angulares, muy fina, moderada; adherente, ligeramente plástica, firme; ausencia de cutanes.

4.3 Perfil 3

4.3.1 Información acerca del sitio de la muestra

Ubicación: carretera San Isidro-Ceniza, 5 Km al sur de San Isidro y 750 m al este de la carretera. Aproximadamente 9° 20' 26" N, 83° 41' 30" O.

Altitud: 680 m sobre el nivel medio del mar.

Forma del terreno
circundante: fuertemente ondulada, 8% a 16% de
pendiente.

Pendiente donde el perfil
está situado: 0% a 2% de inclinación.

Vegetación: arbustos semileñosos y pastos no
cultivados, con predominio de gra-
míneas.

Clase de drenaje: bien drenada.

Condiciones actuales de
humedad del perfil: húmedo en toda su profundidad.

4.3.2 Descripción de los horizontes

A1 0-13 cm Pardo-grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en hú-
medo; arcilla; estructura en bloques sub-
angulares, mediana, moderada, que se des-
hace en estructura granular, muy fina; li-
geramente adherente, ligeramente plástica,
friable; límite neto, plano.

B1 13-60 cm Rojo-amarillento (5YR 5/6) en húmedo; arcí-
lla; estructura en bloques subangulares, me-
diana, moderada, adherente, ligeramente
plástica, friable; límite neto, ondulado.

B21 60-105 cm Rojo 2,5YR 4/6) en húmedo; lenguas verticales de color pardo fuerte (7,5YR 5/6) en húmedo, muchas, grandes, definidas: arcilla; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada, que se deshace en estructura de bloques angulares, muy fina, moderada; adherente, ligeramente plástica, firme; ausencia de cutanes; límite gradual, ondulado.

B22 105-160 cm+ Rojo (2,5YR 5/6) en húmedo; lenguas verticales de color pardo fuerte (7,5YR 5/6) en húmedo, muchas, grandes, definidas: arcilla; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada, que se deshace en estructura de bloques angulares, muy fina, moderada; adherente, ligeramente plástica, firme, ausencia de cutanes.

4.4 Perfil 4

4.4.1 Información acerca del sitio de la muestra

Ubicación: carretera San Isidro-Ceniza, 3 Km al sur de San Isidro y 500 m al este de la carretera. Aproximadamente 9° 21' 10" N, 83° 41' 40" O.

Altitud: 700 m sobre el nivel medio del mar.

Forma del terreno
circundante: fuertemente ondulada, 8% a 16% de
pendiente.

Pendiente donde el perfil
está situado: 0% a 2% de inclinación.

Vegetación: arbustos semileñosos y pastos no
cultivados, con predominio de gra-
mineas. Claras evidencias de que
el bosque secundario fue talado
recientemente.

Clase de drenaje: bien drenada.

Condiciones actuales de
humedad del perfil: húmedo en toda su profundidad.

4.4.2 Descripción de los horizontes

A11 0-9 cm Negro (10YR 2/1) en húmedo; arcilla; estruc-
tura en bloques subangulares, mediana, mo-
derada; ligeramente adherente, ligeramente
plástica, firme; límite neto ondulado.

A12 9-16 cm Pardo-grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en hú-
medo; arcilla; estructura en bloques suban-
gulares, mediana, moderada, que se deshace
en estructura granular muy fina; ligeramente
adherente, ligeramente plástica, friable;
límite neto, ondulado.

- B1 16-83 cm Pardo fuerte (7,5YR 5/6) en húmedo; arcilla; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada; adherente, ligeramente plástica, firme; límite neto, ondulado.
- B21 83-110 cm Pardo fuerte (7,5YR 5/6) en húmedo; lenguas verticales de color rojo (2,5YR 4/8) en húmedo, frecuentes, grandes, definidas; arcilla; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada, que se deshace en estructura de bloques angulares, muy fina, moderada; adherente, ligeramente plástica, firme; ausencia de cutanes; límite difuso.
- B22 110-165 cm+ Pardo fuerte (7,5YR 5/8) en húmedo; lenguas verticales de color rojo (2,5YR 4/8) en húmedo, frecuentes, grandes, definidas; arcilla; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada, que se deshace en estructura de bloques angulares, muy fina, moderada; adherente, ligeramente plástica, firme; ausencia de cutanes.

4.5 Perfil 5

4.5.1 Información acerca del sitio de la muestra

Ubicación: carretera Interamericana, 8,5 Km al sureste de San Isidro y 500 m al oeste de la carretera. Aproximadamente 9° 19' N, 83° 40' 15" O.

Altitud: 615 m sobre el nivel medio del mar.

Forma del terreno circundante: ondulada, 2% a 8% de pendiente.

Pendiente donde el perfil está situado: 0% a 2% de inclinación.

Vegetación: arbustos semileñosos y pastos no cultivados, con predominio de gramíneas.

Clase de drenaje: bien drenada.

Condiciones actuales de humedad del perfil: húmedo en toda su profundidad.

4.5.2 Descripción de los horizontes

Al 0-17 cm Pardo oscuro (7,5YR 3/2) en húmedo; arcilla; estructura en bloques subangulares, fina, fuerte; ligeramente adherente, ligeramente plástica, friable; límite neto, ondulado.

- B1 17-34 cm Pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo; arcilla; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada; adherente, ligeramente plástica, firme; límite neto, ondulado.
- B2 34-86 cm Rojo-amarillento (5YR 4/6) en húmedo; arcilla, poca grava; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada; adherente, ligeramente plástica, firme; ausencia de cutanes; menos de 5%, en volumen, de cantos rodados bien meteorizados, suaves, de diámetro hasta 4 cm; límite neto, ondulado.
- B3 86-155 cm+ Rojo (2,5YR 5/8) en húmedo; arcilla, pedregosa; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada; adherente, ligeramente plástica, firme; ausencia de cutanes; aproximadamente 20%, en volumen, de cantos rodados bien meteorizados, suaves, de diámetro hasta 10 cm.

4.6 Perfil 6

4.6.1 Información acerca del sitio de la muestra

Ubicación: carretera Interamericana, 6,5 Km
al sureste de San Isidro y 300 m

al oeste de la carretera. Aproximadamente 9° 20' N, 83° 40' 24" O.

Altitud: 635 m sobre el nivel medio del mar.

Forma del terreno circundante: ondulada, 2% a 8% de pendiente.

Pendiente donde el perfil está situado: 0% a 2% de inclinación.

Vegetación: arbustos semileñosos y pastos no cultivados, con predominio de gramineas.

Clase de drenaje: bien drenada.

Condiciones actuales de humedad del perfil: húmedo en toda su profundidad.

4.6.2 Descripción de los horizontes

A1 0-20 cm Pardo-rojizo oscuro (5YR 3/2) en húmedo; arcilla; estructura en bloques subangulares, fina, fuerte; ligeramente adherente, ligeramente plástica, friable; límite neto, ondulado.

B1 20-43 cm Pardo-rojizo (5YR 4/4) en húmedo; arcilla; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada; adherente, ligeramente plástica, firme; límite neto, ondulado.

- B21 43-75 cm Rojo-amarillento (5YR 4/6) en húmedo; arcilla; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada; adherente, ligeramente plástica, firme; ausencia de cutanes; límite gradual, ondulado.
- B22 75-115 cm Rojo-amarillento (5YR 4/8) en húmedo; arcilla, poca grava; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada, adherente, ligeramente plástica, firme; ausencia de cutanes; menos de 5%, en volumen, de cantos rodados bien meteorizados, suaves, de diámetro hasta 4 cm; límite neto, ondulado.
- B3 115-165 cm+ Rojo (2,5YR 5/8 en húmedo; arcilla, pedregosa; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada; adherente, ligeramente plástica, firme; ausencia de cutanes; aproximadamente 20%, en volumen, de cantos rodados bien meteorizados, suaves, de diámetro hasta 10 cm.

4.7 Perfil 7

4.7.1 Información acerca del sitio de la muestra

Ubicación: carretera Palmares-Peñas Blancas, 1,5 Km al sur de Palmares y 200 m al sur de la carretera. Aproximadamente 9° 18' 50" N, 83° 39' 30" O.

Altitud: 585 m sobre el nivel medio del mar.

Forma del terreno circundante: casi plana, 2% de pendiente máxima.

Pendiente donde el perfil está situado: 0% a 2% de inclinación.

Vegetación: pastos no cultivados, con predominio de gramíneas.

Clase de drenaje: algo excesivamente drenada.

Condiciones actuales de humedad del perfil: húmedo en toda su profundidad.

Clase de pedregosidad superficial: pedregosa, con cantos rodados.

4.7.2 Descripción de los horizontes

All 0-13 cm Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; arena franca; estructura en bloques subangulares, mediana, débil; no adherente, no plástica, friable; presencia abundante de mica; límite neto, plano.

- A12 13-22 cm Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; arena franca; estructura en bloques subangulares, fina, muy débil; no adherente, no plástica, muy friable; presencia abundante de mica; límite brusco, plano.
- C1 22-97 cm Pardo-amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; arena; sin estructura, granos sueltos; no adherente, no plástica, suelta; presencia abundante de mica; límite brusco, plano.
- C2 97-150 cm+ Pardo-amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; franco-arenosa, pedregosa; estructura en bloques subangulares, mediana, débil; no adherente, no plástica, muy friable; presencia abundante de mica; aproximadamente 30%, en volumen, de cantos rodados sanos, de diámetro hasta 15 cm.

4.8 Perfil 8

4.8.1 Información acerca del sitio de la muestra

- Ubicación: carretera Trocha-Hermosa, 2 Km al sureste de Trocha y 150 m al este de la carretera. Aproximadamente 9° 20' 34" N, 83° 39' 44" O.
- Altitud: 630 m sobre el nivel medio del mar.

Forma del terreno circundante:	casi plana, 2% de pendiente máxima.
Pendiente donde el perfil está situado:	0% a 2% de inclinación.
Vegetación:	pastos no cultivados, con predominio de gramíneas.
Clase de drenaje:	algo excesivamente drenada.
Condiciones actuales de humedad del perfil:	húmedo en toda su profundidad.
Clase de pedregosidad superficial:	no pedregosa.

4.8.2 Descripción de los horizontes

A1 0-22 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; arena franca; estructura en bloques subangulares, mediana, débil; no adherente, no plástica, friable; presencia abundante de mica; límite brusco, plano.
C1 22-64 cm	Pardo-amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; arena; sin estructura, granos sueltos; no adherente, no plástica, suelta; presencia abundante de mica; límite brusco, plano.

- C21 64-90 cm Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo; franco-arenosa fina; estructura en bloques subangulares, mediana, muy débil; no adherente, no plástica, muy friable; presencia abundante de mica; límite neto, plano.
- C22 90-155 cm+ Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; franco-arenosa fina; estructura en bloques subangulares, mediana, débil; ligeramente adherente, no plástica, friable; presencia abundante de mica.

CUADRO 1 - CARACTERISTICAS FISICAS DEL PERFIL 1

Horizonte	Profundidad (cm)	Distribución de partículas							Textura
		Arena muy gruesa (%)	Arena gruesa (%)	Arena media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	
A11	0 -	0,5	0,8	2,5	4,8	14,0	5,7	71,7	Arcilla
A12	5 -	1,1	1,2	2,0	3,2	10,0	6,3	76,2	Arcilla
B1	10 -	0,9	1,1	1,8	1,7	8,3	6,9	79,3	Arcilla
B21	28 -	0,8	0,8	1,0	1,9	11,3	6,8	76,5	Arcilla
B22	48 - 160+	0,9	0,7	2,3	2,7	10,7	7,2	75,5	Arcilla

Horizonte	Densidad aparente (g/cm ³)	Densidad de partículas (g/cm ³)	Arcilla sada en agua (%)	Dispersión en agua (%)	Retención de humedad, 15 bares (%)
A11	0,68	2,14	3,94		38,8
A12	0,93	2,54	11,14		33,2
B1	1,01	2,64	0,14		31,6
B21	1,03	2,64	0,08		31,8
B22	1,06	2,66	0,36		31,2

CUADRO 2 - CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL PERFIL 1

Horizonte	pH		Materia orgánica (%)	Oxidos libres de hierro (% Fe ₂ O ₃)	Oxidos libres de aluminio (% Al ₂ O ₃)
	H ₂ O	CaCl ₂			
A11	4,9	4,1	24,2	6,4	30,8
A12	5,0	4,1	7,3	7,8	36,9
B1	5,0	4,2	2,7	8,9	41,0
B21	5,1	4,3	1,9	11,3	43,6
B22	5,0	4,7	0,6	11,5	44,1

Horizonte	CIC	Bases cambiabiles			Al	Saturación de bases (%)	Bases y aluminio extraíbles (meq./100 g arcilla)	CIC de la tierra fina (meq./100 g arcilla)
		K	Ca	Mg				
A11	49,1	0,60	1,32	2,14	3,3	8,3	10,3	68,5
A12	19,0	0,44	0,17	0,40	1,5	5,3	3,3	24,9
B1	11,5	0,48	0,09	0,26	0,7	7,2	1,9*	14,6*
B21	12,3	0,28	0,11	0,23	0,3	5,0	1,2*	15,5*
B22	11,2	0,21	0,07	0,21	0,1	4,4	0,8*	14,4*

* Porcentaje estimado de arcilla: 2,5 veces la retención de agua a 15 bares (34).

CUADRO 3 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL PERFIL 2

Horizonte	Profundidad (cm)	Distribución de partículas								Textura
		Arena muy gruesa (%)	Arena gruesa (%)	Arena media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)		
A11	0 - 8	0,5	0,7	2,4	4,6	14,4	6,1	71,3	Arcilla	
A12	8 - 14	1,0	1,1	2,1	3,0	10,4	6,5	75,9	Arcilla	
B1	14 - 34	0,6	0,7	1,8	1,9	11,0	5,4	78,6	Arcilla	
B21	34 - 57	0,5	0,6	2,0	2,4	13,6	5,1	75,8	Arcilla	
B22	57 - 165+	0,3	0,6	1,9	3,3	14,3	8,1	71,5	Arcilla	

Horizonte	Densidad aparente (g/cm ³)	Densidad de partículas (g/cm ³)	Arcilla dispersada en agua (%)	Retención de humedad, 15 baras (%)
A11	0,91	2,38	9,00	34,8
A12	0,97	2,48	8,16	33,4
B1	1,03	2,61	0,08	31,8
B21	1,07	2,63	0,05	30,8
B22	1,10	2,64	0,41	29,2

CUADRO 4 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL PERFIL 2

Horizonte	pH		Materia orgánica (%)	Oxidos libres de hierro (% Fe ₂ O ₃)	Oxidos libres de aluminio (% Al ₂ O ₃)
	H ₂ O	CaCl ₂			
A11	5,0	4,3	11,4	7,7	36,9
A12	5,1	4,3	7,3	8,5	37,1
B1	5,1	4,4	2,8	11,0	41,0
B21	5,3	4,7	1,4	11,2	45,1
B22	5,4	5,1	0,9	11,3	46,2

34

Horizonte	CIC	Bases cambiables			Al	Saturación de bases (%)	Bases y aluminio extraíbles (meq./100 g arcilla)	CIC de la tierra fina (meq./100 g arcilla)
		K	Ca	Mg				
A11	25,8	0,37	1,33	1,64	1,2	12,9	6,4	36,2
A12	19,0	0,30	0,51	0,31	1,0	5,9	2,8	25,0
B1	12,2	0,24	0,16	0,30	0,3	5,7	1,2*	15,3*
B21	10,2	0,23	0,15	0,28	0,2	6,5	1,1*	13,2*
B22	10,8	0,22	0,12	0,21	0,1	5,1	0,9*	14,8*

* Porcentaje estimado de arcilla: 2,5 veces la retención de agua a 15 bares (34).

CUADRO 5 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL PERFIL 3

Horizonte	Profundidad (cm)	Distribución de partículas							Textura
		Arena muy gruesa (%)	Arena gruesa (%)	Arena media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	
A1	0 - 13	0,5	0,7	2,3	3,2	11,3	6,4	75,6	Arcilla
B1	13 - 60	0,4	0,4	2,0	1,4	9,4	6,9	79,5	Arcilla
E21	60 - 105	0,8	0,7	2,3	1,9	5,0	7,5	81,8	Arcilla
B22	105 - 160+	0,5	0,6	1,9	2,7	8,9	8,3	77,1	Arcilla

Horizonte	Densidad aparente (g/cm ³)	Densidad de partículas (g/cm ³)	Arcilla dispersada en agua (%)	Retención de humedad, 15 bares (%)
B1	1,02	2,64	0,07	32,1
B21	1,08	2,65	0,05	33,2
B22	1,12	2,66	0,47	31,8

CUADRO 6 - CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL PERFIL 3

Horizonte	pH		Materia orgánica (%)	Oxidos libres de hierro (% Fe ₂ O ₃)	Oxidos libres de aluminio (% Al ₂ O ₃)
	H ₂ O	CaCl ₂			
A1	5,2	4,6	9,8	7,6	33,3
B1	5,4	4,8	1,5	9,4	36,9
B21	5,5	4,8	0,9	10,5	38,5
B22	5,4	5,0	0,1	11,5	46,2

- 36 -

Horizonte	CIC	Bases cambiables		Al	Saturación de bases (%)	Pases y aluminio extraíbles (meq./100 g arcilla)	CIC de la tierra fina (meq./100 g arcilla)
		K	Ca				
A1	23,8	0,42	1,19	1,30	0,6	4,6	31,5
B1	12,4	0,28	0,34	0,30	0,2	1,4 *	15,5 *
B21	11,9	0,38	0,06	0,21	0,1	0,9 *	14,3 *
B22	12,2	0,33	0,08	0,20	0,1	0,9 *	15,3 *

* Porcentaje estimado de arcilla: 2,5 veces la retención de agua a 15 bares (34).

CUADRO 7 - CAPACTERISTICAS FISICAS DFL PERFIL 4

Horizonte	Profundidad (cm)	Distribución de partículas							Textura
		Arena muy gruesa (%)	Arena gruesa (%)	Arena media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	
A11	0 - 9	0,4	0,3	2,6	3,6	14,4	6,3	72,4	Arcilla
A12	9 - 16	0,2	0,4	1,9	1,8	12,7	7,5	75,5	Arcilla
B1	16 - 83	0,3	0,3	1,8	1,3	7,6	6,9	81,8	Arcilla
B21	83 - 110	0,4	0,2	1,8	1,2	7,4	6,7	82,3	Arcilla
B22	110 - 165+	0,3	0,4	2,1	1,3	10,7	7,2	78,0	Arcilla

-37-

Horizonte	Densidad aparente (g/cm ³)	Densidad de partículas (g/cm ³)	Arcilla sada en agua (%)	Arcilla dispersada en agua (%)	Retención de humedad, 15 bares (%)
A11	0,72	2,26	3,43		37,5
A12	0,89	2,40	4,15		34,3
B1	0,97	2,63	0,07		32,7
B21	1,03	2,65	0,07		33,1
B22	1,06	2,66	0,13		32,1

CUADRO 3 - CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL PERFIL 4

Horizonte	pH		Materia orgánica (%)	Oxidos libres de hierro (% Fe ₂ O ₃)	Oxidos libres de aluminio (% Al ₂ O ₃)
	H ₂ O	CaCl ₂			
Al1	5,1	4,4	16,9	6,5	23,6
Al2	5,0	4,5	11,6	7,5	31,8
B1	5,4	4,6	1,9	10,0	35,9
B21	5,4	4,9	0,7	11,2	39,5
B22	5,3	5,0	0,4	11,7	40,6

1381

Horizonte	CIC	Bases cambiables			Al	Saturación de bases (%)	Bases y aluminio extraíbles (meq./100 g arcilla)	CIC de la tierra fina (meq./100 g arcilla)
		K	Ca	Mg				
Al1	39,8	0,36	1,63	1,32	1,7	8,3	6,9	55,0
Al2	30,6	0,28	0,08	0,46	1,5	2,8	3,1	40,5
B1	12,2	0,38	0,07	0,25	0,3	5,7	1,2*	14,9*
B21	11,3	0,36	0,05	0,21	0,2	5,5	1,0*	13,6*
B22	12,1	0,31	0,05	0,20	0,1	4,6	0,8*	15,1*

* Porcentaje estimado de arcilla: 2,5 veces la retención de agua a 15 bares (34).

CUADRO 9 - CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL PERFIL 5

Horizonte	Profundidad (cm)	Distribución de partículas						Textura	
		Arena muy gruesa (%)	Arena gruesa (%)	Arena media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	Limo Arcilla (%)		
A1	0 - 17	0,1	0,8	2,8	6,5	3,5	15,8	70,5	Arcilla
B1	17 - 34	0,8	1,1	2,4	3,7	2,4	12,3	77,3	Arcilla
B2	34 - 86	0,8	1,1	2,6	4,0	1,5	11,9	78,1	Arcilla
B3	86 - 155+	1,0	1,4	3,1	5,5	2,1	19,5	67,4	Arcilla

Horizonte	Densidad aparente (g/cm ³)	Densidad de partículas (g/cm ³)	Arcilla dispersada (%)	pH	CaCl ₂	Materia orgánica (%)	Oxidos de hierro (% Fe ₂ O ₃)	Oxidos de aluminio (% Al ₂ O ₃)
A1	0,94	2,48	10,77	5,0	4,6	6,8	6,9	21,7
B1	1,07	2,60	4,57	5,0	4,5	3,5	8,6	23,6
B2	1,10	2,64	0,07	5,5	4,7	1,9	9,8	26,8
B3	1,14	2,67	0,02	5,7	5,0	1,0	12,1	26,3

Horizonte	CIC	Pasos cambiables		Al	Saturación de bases (%)	Bases y aluminio extraíbles (meq./100 g arcilla)	CIC de la tierra fina (meq./100 g arcilla)
		K	Ca				
A1	20,9	0,37	1,51	0,7	17,6	6,2	29,6
B1	17,7	0,39	0,47	0,5	8,5	2,6	22,9
B2	18,7	0,53	0,14	0,2	5,2	1,5	23,9
B3	17,4	0,48	0,24	0,1	6,2	1,8	25,8

CUADRO 10 - CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL PERFIL 6

Horizonte	Profundidad (cm)	Distribución de partículas						Textura
		Arena muy gruesa (%)	Arena gruesa (%)	Arena media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	Arcilla (%)	
A1	0 - 20	0,1	0,6	2,8	6,3	3,3	15,5	Arcilla
B1	20 - 43	0,2	0,8	2,2	4,9	3,2	15,3	Arcilla
B21	43 - 75	0,3	0,8	2,4	3,2	1,7	12,7	Arcilla
B22	75 - 115	0,3	1,0	3,1	2,9	1,2	12,2	Arcilla
B3	115 - 165+	0,7	1,5	4,4	4,5	4,4	14,3	Arcilla

Horizonte	Densidad aparente (g/cm ³)	Densidad de partículas (g/cm ³)	Arcilla dispersada en agua (%)	pH	CaCl ₂	Materia orgánica (%)	Oxidos de hierro (% Fe ₂ O ₃)	Oxidos de aluminio (% Al ₂ O ₃)
A1	0,89	2,45	4,70	4,8	4,5	9,5	7,4	22,6
B1	0,97	2,65	0,07	5,2	4,6	2,3	11,1	25,9
B21	1,01	2,66	0,11	5,5	5,1	1,5	11,7	27,3
B22	1,08	2,69	0,17	5,4	5,4	0,5	12,6	28,2
B3	1,16	2,73	0,18	5,5	5,3	0,4	12,8	29,1

Horizonte	CIC	Bases cambiabiles (meq./100 g suelo)		Saturación de bases (%)	Bases y aluminio extraíbles (meq./100 g arcilla)		CIC de la tierra fina (meq./100 g arcilla)
		K	Ca Mg		Al	Aluminio	
A1	28,2	0,41	1,80	13,7	6,7	39,5	39,5
B1	17,5	0,30	0,26	5,5	1,7	23,8	23,8
B21	17,3	0,38	0,14	4,9	1,3	21,9	21,9
B22	16,1	0,41	0,11	4,5	1,2	22,6	22,6
B3	16,9	0,41	0,31	6,2	1,6	24,1	24,1

CUADRO 11 - CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL PERFIL 7

Horizonte	Profundidad (cm)	Distribución de partículas					Textura
		Arena muy gruesa (%)	Arena gruesa media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	Arcilla (%)	
A11	0 - 13	1,8	6,8	24,0	20,2	26,2	Arena franca
A12	13 - 22	1,5	7,7	25,8	24,0	17,0	Arena franca
C1	22 - 97	3,5	9,9	32,2	31,7	7,7	Arena
C2	97 - 150+	4,4	10,5	21,2	12,7	16,2	Franco-arenosa

Horizonte	Densidad aparente (g/cm ³)	Densidad de partículas (g/cm ³)	pH	Materia orgánica (%)	Oxidos libres de hierro (% Fe ₂ O ₃)	Oxidos libres de aluminio (% Al ₂ O ₃)
A11	1,24	2,65	5,3	4,7	5,2	3,5
A12	1,16	2,70	5,7	5,0	5,3	3,3
C1	1,32	2,78	6,0	0,7	4,9	2,8
C2	1,48	2,79	6,2	1,1	6,1	4,7

Horizonte	CIC	Bases cambiables		Al	Saturación de bases (%)
		K	Ca		
(meq./100 g suelo)					
A11	15,6	0,35	4,09	0,72	33,1
A12	11,7	0,30	3,69	0,44	37,9
C1	8,3	0,25	2,89	0,30	41,4
C2	11,7	0,25	5,89	0,53	57,0

CUADRO 12 - CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL PERFIL 8

Horizonte	Profundidad (cm)	Distribución de partículas							Textura
		Arena muy gruesa (%)	Arena gruesa (%)	Arena media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	
A1	0 -	0,5	3,3	31,2	23,1	22,9	15,5	3,5	Arena franca
C1	22 -	0,8	4,6	36,5	40,6	3,5	12,5	1,5	Arena
C21	64 -	0,6	3,3	17,0	37,2	15,4	19,0	7,5	Francos-arenosa fina
C22	90 -	155+	1,8	11,2	31,1	13,4	23,0	14,0	Francos-arenosa fina

Horizonte	Densidad aparente (g/cm ³)	Densidad de partículas (g/cm ³)	pH	Materia orgánica (%)	Oxidos libres de hierro (% Fe ₂ O ₃)	Oxidos libres de aluminio (% Al ₂ O ₃)
A1	1,18	2,69	5,6	3,6	5,2	2,3
C1	1,26	2,73	6,0	1,5	5,0	2,6
C21	1,18	2,72	6,1	1,1	5,7	3,5
C22	1,31	2,69	6,0	1,7	6,1	4,5

Horizonte	CIC	Bases cambiables			Al	Saturación de bases (%)
		K	Ca	Mg		
(meq./100 g suelo)						
A1	11,2	0,46	3,99	1,48	0,3	52,9
C1	9,7	0,53	3,59	0,66	0,1	49,3
C21	10,7	0,44	4,69	0,79	0,2	55,3
C22	14,6	0,41	6,19	1,48	0,3	55,3

5. DISCUSION

El conjunto de las condiciones ambientales del área de estudio induce a que el proceso de evolución pedogenética sea el de ferralitización. El grado de alteración actual de los suelos que se estudiaron es función del tiempo en que actuaron los procesos pedogenéticos.

Los suelos que se desarrollaron sobre las terrazas superior y media-superior, representados por los perfiles 1,2 y 3,4, evidencian una ferralitización relativa muy avanzada.

Los procesos de formación del suelo actuaron de forma tan rápida e intensa, que la diferencia de tiempo entre la formación de una y de otra terraza no fue suficientemente grande para reflejarse en las características morfológicas y en las propiedades físicas, químicas y posiblemente mineralógicas de los perfiles.

Los datos analíticos que se obtuvieron (cuadros 1 a 8) evidencian que estos suelos perdieron muy notablemente sus bases por lixiviación, presentando un complejo de intercambio catiónico extremadamente desaturado.

Fernández (17) cita datos de análisis elemental total de muestras de tres sitios localizados en estas terrazas: 14,9%, 15,4% y 14,1% de SiO_2 ; 43,1%, 45,0% y 44,9% de Al_2O_3 ; 13,6%, 14,4% y 15,2% de Fe_2O_3 . No obstante las limitaciones de

desconocerse la distancia entre estos sitios y los perfiles estudiados y de no relacionarse la profundidad de los muestreos con los horizontes de los suelos, se pueden comparar estos datos con los que se obtuvieron en la presente investigación y se pueden hacer observaciones sobre la dinámica de los perfiles.

Los suelos sufrieron notable pérdida de sílice si consideramos que su material originario, constituido principalmente por granodiorita y andesita-basalto, pudo contener entre 50% y 60% de SiO_2 . La lixiviación pudo haber sido la causa principal de esta pérdida.

Los horizontes B presentan casi todo el aluminio en formas libres, lo que conduciría a pensar en una neosíntesis caolinítica prácticamente nula. Pero la capacidad de intercambio catiónico de la tierra fina es suficientemente alta para que se admita una presencia considerable de material caolinítico, aunque en cantidades que no fueron determinadas. Esto puede indicar que la técnica utilizada para la extracción de los óxidos libres de aluminio afecta los minerales de arcilla o los materiales no bien cristalizados, resultando valores analíticos más altos de aluminio libre.

Los horizontes B presentan casi todo el hierro en formas libres, lo que ocasiona un porcentaje extremadamente bajo de arcilla dispersada en agua.

La acumulación de materia orgánica en los horizontes A se debe a que los suelos se desarrollaron bajo bosque tropical

húmedo, recientemente talado. Algunas características de los horizontes superiores como colores más oscuros, menor densidad aparente y de partículas, mayor retención de agua, mayor retención de bases y de aluminio cambiables y mayor capacidad de intercambio catiónico de la tierra fina están estrechamente relacionadas con el contenido más elevado de materia orgánica de estos horizontes. Según cita Duchaufour (16), trabajos de Lelong, Pedro y Berrier evidencian que aun la caolinita, el mineral de arcilla más estable, se destruye en los horizontes superficiales en función de una hidrólisis ácida, provocada por la abundancia de ácidos orgánicos solubles y acelerada por la alta temperatura del medio.

Los suelos presentan un contenido extremadamente bajo de limo en relación con el contenido de arcilla. En la fracción arena, la subfracción arena muy fina presenta los valores más elevados.

No obstante la falta de estudios micromorfológicos y petrográfico-mineralógicos de los horizontes B, se admite que estos suelos presentan horizonte diagnóstico óxico (34). Se clasifican en el orden de los oxisoles, en el suborden de los ustoxes y en el gran grupo de los haplustoxes (34).

Los suelos que se desarrollaron sobre la terraza media-inferior, representados por los perfiles 5 y 6, evidencian una ferralitización relativa avanzada.

Asimismo los procesos de formación del suelo actuaron de

forma muy rápida e intensa, pero durante menor espacio de tiempo. La diferencia de tiempo entre la formación de la terraza media-inferior y de las superiores fue suficientemente grande para reflejarse en las características morfológicas y en las propiedades físicas, químicas y posiblemente mineralógicas de los perfiles.

Los datos analíticos que se obtuvieron (cuadros 9 y 10), evidencian que estos suelos también perdieron muy notablemente sus bases por lixiviación, presentando un complejo de intercambio catiónico extremadamente desaturado.

Fernández (17) cita datos de análisis elemental total de muestra de un sitio localizado en esta terraza: 40,7% de SiO_2 , 30,8% de Al_2O_3 y 12,4% de Fe_2O_3 . Considerando igualmente las limitaciones de desconocerse la distancia entre este sitio y los perfiles estudiados y de no relacionarse la profundidad del muestreo con los horizontes de los suelos, también se pueden comparar estos datos con los que se obtuvieron en la presente investigación y se pueden hacer observaciones sobre la dinámica de los perfiles.

Los suelos sufrieron ligera pérdida de sílice, probablemente por lixiviación, si consideramos la constitución principalmente granodiorítica y andesítica-basáltica de su material originario.

Los horizontes B presentan casi todo el aluminio en formas libres, lo que conduciría a pensar en una neosíntesis caolinítica prácticamente nula. Pero la capacidad de intercambio catiónico

de la tierra fina es suficientemente alta para que se admita una presencia muy considerable de material caolinítico y una presencia ligera de material montmorillonítico, aunque en cantidades que no fueron determinadas. Con mucha más razón cabe aquí la observación hecha con respecto a la técnica utilizada para la extracción de los óxidos libres de aluminio.

La relación limo:arcilla que presentan estos suelos es superior a la relación que presentan los suelos de las terrazas superiores.

Los horizontes B presentan igualmente casi todo el hierro en formas libres, lo que ocasiona un porcentaje extremadamente bajo de arcilla dispersada en agua.

La acumulación de materia orgánica en los horizontes A se debe a que los suelos también se desarrollaron bajo bosque tropical húmedo. En relación con los suelos de las terrazas superiores se observa, sin embargo, un contenido más bajo de materia orgánica, consecuencia quizás de la tala no tan reciente del bosque.

La presencia de cantos rodados con diversos grados de meteorización en los horizontes B de estos suelos es la principal diferencia morfológica en relación con los suelos de las terrazas superiores. Las principales diferencias físicas y químicas están representadas en la figura 4, considerándose los perfiles 2 y 6 como los más representativos.

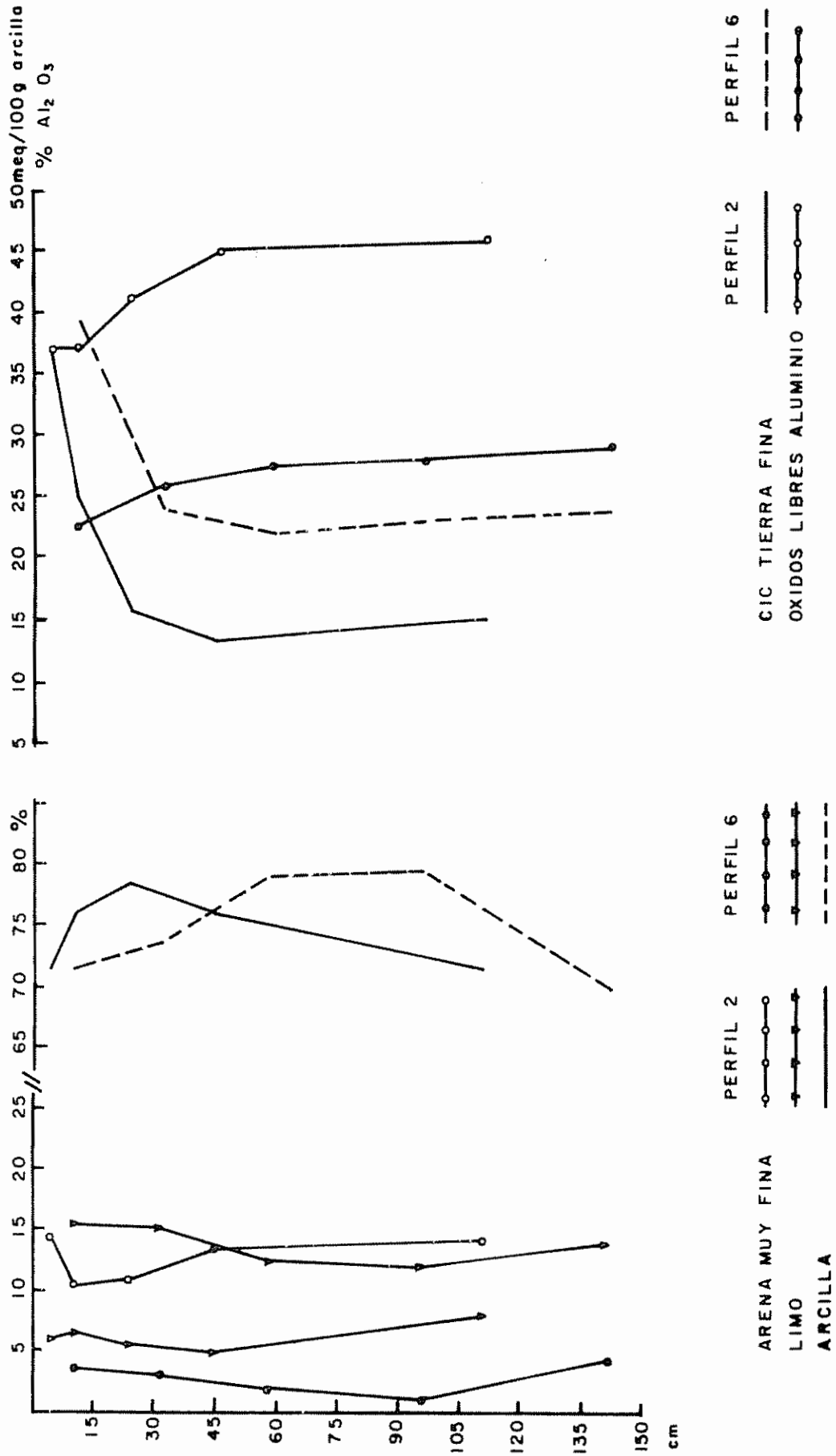


FIGURA 4.— PRINCIPALES DIFERENCIAS FISICAS Y QUIMICAS ENTRE LOS PERFILES 2 Y 6 EN FUNCION DE SU PROFUNDIDAD.—

No obstante la falta de estudios micromorfológicos de los horizontes B, se admite que los suelos de la terraza media-inferior presentan horizonte diagnóstico cámbico (34). Se clasifican en el orden de los inceptisoles, en el suborden de los tropeptes y en el gran grupo de los distropeptes (34).

Los suelos que se desarrollaron sobre la terraza inferior, representados por los perfiles 7 y 8, evidencian una evolución incipiente, consecuencia del tiempo relativamente corto en que actuaron los procesos pedogenéticos.

Estos suelos presentan la morfología estratificada que es característica de los suelos aluviales recientes, poseen libre drenaje interno y ya no están expuestos a procesos de rejuvenecimiento. Probablemente están sometidos a una hidrólisis intensa, lo que ocasiona rápida liberación de los elementos.

Los datos analíticos que se obtuvieron (cuadros 11 y 12), evidencian un complejo de intercambio moderadamente saturado, debido a la pequeña cantidad de arcilla, al poco tiempo de lixiviación y a la liberación probablemente rápida de los elementos.

Las condiciones pedológicas, excepto quizás el rápido drenaje interno, permiten la neosíntesis de materiales montmorilloníticos.

Los perfiles presentan ya una evidente acumulación de materia orgánica en los horizontes A. La densidad aparente y la

densidad de partículas son altas debido a que los suelos son predominantemente arenosos, ricos en fragmentos de rocas y en minerales pesados. La cantidad de óxidos libres de hierro puede tener relación con los materiales que fueron arrastrados, ya ricos en hierro libre.

Considerando que el conjunto de las condiciones ambientales no experimenta cambios notables, se puede decir que los suelos de la terraza inferior sufrirán ferralitización.

Estos suelos se clasifican en el orden de los entisoles, en el suborden de los fluventes y en el gran grupo de los ustifluventes (34).

6. CONCLUSIONES

Considerando las condiciones del área de estudio, de la presente investigación se concluye que:

- a. los suelos más evolucionados se encuentran en las superficies geomórficas más viejas;
- b. el grado de ferralitización que presentan los suelos es función del tiempo en que actuaron los procesos pedogenéticos;
- c. admitiendo una constancia relativa de las condiciones ambientales, los suelos evolucionan de entisoles a inceptisoles y de inceptisoles a oxisoles;
- d. se puede utilizar la relación limo:arcilla para separar los suelos relativamente más viejos de los relativamente más recientes;
- e. los oxisoles y los inceptisoles deben presentar un alto poder de fijación aniónica, consecuencia de su elevado contenido en sesquióxidos libres;
- f. la fertilidad de los suelos decrece en función del aumento de su grado de ferralitización.

SUMARIO

En la presente investigación se estudia la génesis comparativa de los suelos desarrollados sobre una secuencia de terrazas aluviales del plio-pleistoceno y del holoceno localizada en los trópicos húmedos, valle de El General, Costa Rica.

Los suelos de las terrazas superior y media-superior presentan una ferralitización relativa muy avanzada y se clasifican como haplustoxes. Los suelos de la terraza media-inferior presentan una ferralitización relativa avanzada y se clasifican como distropeptos. Los suelos de la terraza inferior presentan una evolución genética incipiente y se clasifican como ustifluventes.

SUMMARY

A comparative genetic study was made of soils developed on a sequence of Plio-Pleistocene and Recent alluvial terraces in the humid tropics, El General Valley, Costa Rica.

The soils of the upper two terraces show relatively very advanced ferralitic weathering and are classified as Haplustox. The soils of the next lower terrace show relatively advanced ferralitic weathering and are classified as Dystropepts. The soils of the lowest terrace show incipient development and are classified as Ustifluvents.

LITERATURA CITADA

1. ACQUAYE, D. y TINSLEY, J. Soluble silica in soils. In Hallsworth, E. G. y Crawford, D. V., eds. Experimental pedology. London, Butterworths, 1965. pp. 126-148.
2. AUBERT, G. Les sols lateritiques. In International Congress of Soil Science, 5th, Léopoldville, 1954. Transactions. Bruxelles, General Secretary's Office, International Society of Soil Science, 1954. v. 1, pp. 103-112.
3. _____. Les sols tropicaux. In International Congress of Soil Science, 8th, Bucharest, 1964. Transactions. Bucharest, Publishing House of the Academy of the Socialist Republic of Romania, 1964. v. 1, pp. 213-229.
4. BLAKE, G. R. Bulk density. In Black, C. A. et al, eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 374-390.
5. BORNEMISZA, E. e IGUE, K. Oxidos libres de hierro y aluminio en suelos tropicales. Turrialba 17(1):23-30. 1967.
6. BURINGH, P. Introduction to the study of soils in tropical and subtropical regions. Wageningen, The Netherlands, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, 1968. 113 p.
7. COEN, E. La meteorología de Costa Rica. In Costa Rica, Dirección de Estadística y Censos. Atlas Estadístico de Costa Rica. San José, 1953. pp. 34-37.
8. COSTA RICA. INSTITUTO GEOGRAFICO. Mapa topográfico de Repunta (1:50.000). San José, 1964. 1 h.
9. _____. INSTITUTO GEOGRAFICO. Mapa topográfico de San Isidro (1:50.000). San José, 1964. 1 h.
10. _____. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. Anuario meteorológico 1964. San José, 1965. 69 p.
11. DENGGO, G. Tectonic-igneous sequence in Costa Rica. In Geological Society of America. Petrologic studies: a volume to honor A. F. Buddington. s. l., Geological Society of America, 1962. pp. 133-161.

12. D'HOORE, J. L'accumulation des sesquioxides libres dans les sols tropicaux. Congo Belge, INÉAC, 1954. 132 p. (Série Scientifique n° 62)
13. DIAZ-ROMEU, R. y BALERDI, F. Determinación de la capacidad de intercambio de cationes del suelo. Turrialba, IICA, 1967. 3 p. (mimeo)
14. DONDOLI, C. La región de El General; condiciones geológicas y geoagronómicas de la zona. Revista del Instituto de Defensa del Café de Costa Rica 23(106):513-528. 1943.
15. DUCHAUFOUR, P. Précis de pédologie. 2ème éd. Paris, Masson, 1965. 481 p.
16. _____. L'évolution des sols; essai sur la dynamique des profils. Paris, Masson, 1968. 94 p.
17. FERNANDEZ, M. Notas geológicas sobre los depósitos de laterita y bauxita localizados en Costa Rica. Costa Rica, Ministerio de Industria, Departamento de Geología, Minas y Petróleo, 1962. 32 p. (Informe n° 10)
18. FORSYTHE, W. Progresos recientes en el análisis de las partículas de los suelos por medio del método del hidrómetro. Agronomía (Perú) 33(1):16-27. 1966.
19. _____. Densidad de partículas de suelo; método con agua y con keroseno. Turrialba, IICA, 1967. 10 p. (mimeo)
20. GARDNER, W. H. Water content. In Black, C. A. et al, eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 82-127.
21. HOLDRIDGE, L. La vegetación de Costa Rica. In Costa Rica, Dirección de Estadística y Censos. Atlas Estadístico de Costa Rica. San José, 1953. pp. 32-33.
22. JACKSON, M. L. Soil chemical analysis; advanced course. Madison, University of Wisconsin, 1956. 991 p. (mimeo)
23. KELLER, W. The principles of chemical weathering. Columbia, Missouri, Lucas, 1957. 111 p.
24. KELLOG, C. Tropical soils. In International Congress of Soil Science, 4th, Amsterdam, 1950. Transactions. Groningen, Hoitsema, 1950. v. 1, pp. 266-276.
25. MACIAS, M. Propiedades morfológicas, físicas, químicas y clasificación de ocho "latosoles" de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1969. 193 p. (mimeo)

26. McLEAN, E. O. Aluminum. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis, Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 978-998.
27. MAIGNIEN, R. Review of research on laterites. Paris, UNESCO, 1966. 143 p.
28. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. Guía para la descripción de perfiles de suelo. Roma, 1968. 60 p.
29. PEECH, M. Hydrogen-ion activity. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 914-926.
30. PONS, L y ZONNEVELD, I. Soil ripening and soil classification; initial soil formation in alluvial deposits and a classification of the resulting soils. Wageningen, The Netherlands, International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1965. 128 p. (Publication n° 13)
31. RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 128-152.
32. SAIZ DEL RIO, J. F. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos; métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, IICA, 1961. 107 p.
33. U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. SOIL SURVEY STAFF. Soil survey manual. Washington, D. C., U. S. Government Printing Office, 1951. 503 p. (Agricultural Handbook n° 18)
34. _____. Supplement to soil classification system (7th approximation). Washington, D. C., U. S. Government Printing Office, 1967. 207 p.
35. _____. Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples. Washington, D. C., U. S. Government Printing Office, 1967. 50 p. (Soil Survey Investigations Report n° 1)
36. WEYL, R. Excursiones geológicas en Costa Rica. IV. De la cordillera de Talamanca al valle del General. In Costa Rica, Instituto Geográfico de Costa Rica. San José, 1957. pp. 18-35. (Informe Trimestral enero a marzo)
37. _____. Los orógenos centroamericanos. In Costa Rica, Instituto Geográfico de Costa Rica. San José, 1960. pp. 25-38. (Informe Semestral enero a junio)