PROPIEDADES MORFOLOGICAS, FISICAS, QUIMICAS Y CLASIFICACION DE OCHO "LATOSOLES" DE COSTA RICA

Tesis de Grado de *Magister Scientiae*

Marciano Macías V.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Departamento de Fitotecnia y Suelos
Turrialba, Costa Rica
Diciembre, 1969

PROPIEDADES MORFOLOGICAS, FISICAS, QUIMICAS Y CLASIFICACION DE OCHO "LATOSOLES" DE COSTA RICA

Tesis de Grado de Magister Scientiae

Marciano Macías V.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Turrialba, Costa Rica

Diciembre, 1969

PROPIEDADES MORFOLOGICAS, FISICAS, QUIMICAS Y CLASIFICACION DE OCHO "LATOSOLES" DE 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: _____ Consejero
J.A. Martini, Ph.D.

_____ Comité
E. Knox, Ph.D.

_____ Comité
F. Maldonado, Ing. Agr.

_____ Comité
J.M. Montoya, Dr. Sc.B.

Diciembre, 1969

A mi patria BOLIVIA

A mis padres

A mi esposa

A mis hijos:
Joselito y
Marco Antonio

AGRADECIMIENTO

El autor expresa su entero agradecimiento y gratitud a las personas e instituciones que colaboraron en la elaboración del presente estudio.

Al Dr. J.A. Martini, Consejero Principal por su constante orientación directa en todas las fases de la presente investigación.

A los miembros del Comité Consejero: Dr. Ellis Knox, e Ing. Fausto Maldonado, por su valiosa cooperación en la fase de la clasificación de estos suelos y al Dr. Jorge M. Montoya por su amplia colaboración.

A los Dres: Hans Fassbender, Warren Forsythe e Ing. Roberto Díaz-Romeu por sus orientaciones.

Al Centro de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la Organización de los Estados Americanos, por su colaboración económica y facilidades proporcionadas.

Al personal del Laboratorio de Suelos, Fisiología, NEP, quienes prestaron su colaboración para el análisis de los suelos.

A los profesores, compañeros y amigos por su espíritu de colaboración y a aquellas personas que en cualquier forma cooperaron en la culminación del presente estudio.

BIOGRAFIA

El autor nació en Potosí, Bolivia, en 1931. En 1950 concluyó sus estudios secundarios en el Colegio Nacional "Jaime Zudañes" de la ciudad de Sucre, Bolivia.

En 1952 ingresó a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad "San Simón" de Cochabamba, Bolivia, donde concluyó sus estudios de Ingeniero Agrónomo en 1957.

Desde 1958 a 1965 prestó sus servicios profesionales al Servicio Agrícola Interamericano; en calidad de Técnico en Clasificación de Suelos.

En 1966 a 1967 pasó a prestar sus servicios como Jefe del Departamento de Suelos del Ministerio de Agricultura (Bolivia).

En Septiembre de 1967 ingresó al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA en la disciplina de Fitotecnia y Suelos, terminando sus estudios en Diciembre de 1969.

Debido a que hasta en 1973 le fue otorgado al Sr. Marciano Macías el título de Ingeniero Agrónomo, no se le había otorgado el título de *Magister Scientiae*. Aunque este trabajo haya sido presentado en 1969.

CONTENIDO

Página

Página

Página

LISTA DE CUADROS

LISTA DE FIGURAS

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

1. INTRODUCCION

1.1 El problema

Desde que a los materiales rojos, ferrugineos, de estructura vesicular fueron denominados como "laterita" por Buchanam (119) en la India, se ha venido utilizando casi sin restricción el término de laterita o suelo laterítico para referirse a los suelos rojos desarrollados en zonas tropicales con alta precipitación pluvial.

En 1949 Kellogg (68) introdujo el término de "latosol" para denominar el suborden que comprende ciertos suelos de las regiones tropicales y ecuatoriales.

La falta de especificación cuantitativa detallada del criterio de latosol, ha creado confusiones y permitido el uso del término bajo diferentes definiciones. Muchas veces se ha llegado a simples generalizaciones, tales como; clasificar como latosoles a los suelos simplemente por el color, pH, ó en su defecto por la aparente morfología que se observa en los cortes de carretera.

Con el desarrollo de la ciencia del suelo y otras ciencias afines, los conceptos de laterita, y latosol, han sufrido cambios que muestran criterios morfológicos, físicos, químicos, mineralógicos y de clima. Esto ha hecho posible determinar los atributos pecualiares, que cuantificados en detalle han ayudado a distinguir a estos suelos.

La literatura sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos llamados latosoles en Costa Rica, es muy escasa,

y si existe, generalmente no representan a perfiles enteros; una razón más para considerar que la denominación de latosoles en parte es incorrecta.

Existe en Costa Rica, preocupación marcada en la utilización de fertilizantes para los cultivos de caña de azúcar, café, pastos, etc. y en la investigación en ese campo. Sin embargo la falta de una caracterización sistemática y detallada de las propiedades y una clasificación de los suelos hace toda interpretación y utilización de los resultados bastante difícil.

1.2 Objetivos

Con los antecedentes mencionados y con el criterio de proporcionar información detallada de los suelos llamados "latosoles", es que se ha propuesto en este trabajo cumplir con los siguientes objetivos:

a) Caracterizar en lo posible el mayor número de propiedades de los suelos conocidos como latosoles en las vertientes del Atlántico y Pacífico de Costa Rica.

b) Determinar el rango de variación de las propiedades y hacer comparaciones entre éstas y con las propiedades del sitio, particularmente, las climáticas.

c) Clasificar estos suelos de acuerdo al Sistema Norteamericano de Clasificación de Suelos, Séptima Aproximación del USDA (140, 141).

d) En base a las propiedades físicas, químicas y morfológicas establecer tentativamente la fertilidad y productividad de estos suelos, en comparación con otros suelos.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 El término "laterita"

El término "laterita" fue originalmente usado por Buchanam en 1807 (119), para dar nombre a los depósitos rojos ferruginosos, de estructura vesicular, sin estratificación, observados en Malabar (India); este término tiene raíz latina "later" que significa ladrillo, y por analogía se usó esta palabra para designar todo material similar al encontrado por Buchanam.

De esta manera la palabra "laterita" fue introducida dentro del lenguaje de la ciencia del suelo; en la actualidad es reconocida científicamente y de uso corriente, no solo dentro del campo del estudio de los suelos, sino también en geología y específicamente en minería.

Dentro de las nuevas corrientes de la ciencia del suelo, el término "laterita" ha sufrido cambio de denominación, llamándose en la actualidad "plintita" (140, 141), cuya etimología se deriva del griego "plinthos" que significa ladrillo; con este término se designa la mezcla de materiales arcillosos, ricos en sesquióxidos, con tendencia a endurecerse irreversiblemente cuando secan.

2.2 Morfología y génesis de "lateritas"

De una manera general se visualiza la morfología, como depósitos de variable espesor, constituída de una masa roja sin distinción de capas, de estructura maciza, con poros vesiculares, en la mayoría de las veces endurecido irreversiblemente a concreciones, o forman masas con

tínuas. Algunas lateritas endurecidas muestran aún la estructura de la roca aunque las propiedades químicas y físicas hayan sido alteradas en forma drástica (139).

El primer trabajo sobre la naturaleza y origen de la laterita fue indudablemente el desarrollado por Bauer en 1898, quien discutió la naturaleza química y mineralógica de las lateritas de Seychelles; contribución que aumentó el conocimiento de la naturaleza y origen de las lateritas.

Al describir la morfología de la "plintita" (140) se menciona que puede ser constituyente de cierto número de horizontes de superficie y de profundidad, que en determinados casos son considerados de diagnóstico. La composición en particular es una mezcla de arcilla y cuarzo, enriquecida con sesquióxidos de hierro y aluminio, pobre en humus, casi siempre en formas laminares, poligonales o reticulares. Esta puede transformarse irreversiblemente en "hardpan" o en agregados irregulares con repetidos humedecimientos y secados, o constituir la porción endurecida de los moteados blancos rojos. Los límites de la plintita a menudo son difusos o graduales, pero pueden ser abruptos en una discontinuidad litológica.

Alexander y Cady (1) mencionan que las lateritas son resultado de la meteorización profunda y el endurecimiento de los materiales resultantes de la meteorización, que en última instancia forman una estructura de roca seudomorfa, que presenta restos de revestimientos de arcilla. Otro autor (110) al referirse a la laterización, o como lo llama él mismo, ferratilización, considera como un proceso de al-

teración extremada de la roca y del suelo, que llega a la individualización de los elementos tales como silicio, óxidos de hierro, aluminio, manganeso y titanio. Por otra parte Aubert (2) menciona dentro de la alteración acentuada de minerales de las rocas, la eliminación casi total de las bases alcalinas y alcalino-térreas y del silicio en forma parcial; con la consiguiente acumulación en proporciones variables de minerales arcillosos del tipo caolinítico, y óxidos e hidróxidos.

Mohr y van Baren (90) indican que las condiciones ideales de buen drenaje, acompañadas de una completa remoción de silice y bases, forman un residuo llamado laterita primaria, que seguida de una resilicificación forma masas lateríticas o arcillas lateríticas.

Kellogg (68) en las primeras sugerencias para la clasificación y nomenclatura de grandes grupos de suelos del trópico y regiones ecuatoriales, estrictamente define como "laterita" a los materiales ferruginosos, los cuales se endurecen al aire y a las formas fósiles de estos materiales.

Harrassowitz (59), menciona cierta analogía en la formación de la caolinita y la laterita, por el marcado blanqueado y el enérgico lavado de las bases. Este autor menciona que el hierro y el aluminio son constituyentes esenciales de las lateritas, razón suficiente para usar como un criterio diagnóstico la relación SiO_2/Al_2O_3, designada también como "Ki".

A los materiales que tienen relación con las propiedades de "laterita" Robinson (111) los llama "suelos muertos" por ser caso extre-

mo de meteorización.

Al proceso de laterización, Gerasimov (52) llama alítico, y define como el grado de descomposición de los minerales alumino-ferrisilicatos primarios y secundarios y de minerales de arcilla secundarios, con la consiguiente acumulación de hierro y aluminio en forma de óxidos, que en suma es un fenómeno muy típico de regiones tropicales con alta precipitación.

En forma concluyente varios autores (53, 67, 77, 83, 84, 94, 95, 106, 121, 127) consideran a las lateritas como materiales residuales, formados en condiciones tropicales, con alta precipitación, excesiva lixiviación, destrucción completa del complejo de cambio, y que por alternación de secado y humedecimiento tienden a formar una masa dura irreversible.

2.3 Concepto de "latosol"

De acuerdo con las especificaciones sobre la morfología de las lateritas hechas por Marbut (84), el concepto original de laterita y suelos lateríticos fueron aceptados enteramente, y adoptados por el U.S.D.A.

En el Sistema de Clasificación presentado en 1938 en el Anuario de Agricultura "Soil and Men", Baldwin *et al.* (3) hacen una clara distinción de los suelos intrazonales como las lateritas hidromórficas y los zonales como las lateritas pardo amarillentas, lateritas pardo rojizas y las lateritas a nivel de grandes grupos.

Posteriormente, Kellogg (68) en las sugerencias preliminares para la clasificación y nomenclatura de grandes grupos de suelos de zonas tropicales y de regiones ecuatoriales, prefirió usar las denominaciones de latosol pardo amarillento, latosol pardo rojizo y latosol rojo. Este mismo autor (69) en 1950, propuso el término "latosol" a los suelos que se encuentran comunmente en el área comprendida entre los 23º 30' del trópico de Cáncer y el trópico de Capricornio. El término "latosol" fue propuesto para ser usado a nivel de suborden, dentro del cual incluye a los suelos tropicales con las siguientes características: baja relación sílice/sesquióxidos de la fracción arcilla, mediana a baja capacidad de intercambio catiónico de la fracción arcillosa, bajo contenido de minerales primarios, excepto los altamente resistentes; bajo contenido de material soluble, alto grado de estabilidad de agregados y bajo contenido de la fracción limo. Incluye algunas propiedades agronómicas, como: desbalance de nutrimentos, fósforo generalmente bajo (por ser estos suelos altamente fijadores del nutrimento), reacción ácida y de baja amortiguación.

2.4 Morfología y génesis de "latosoles"

Es necesario sentar como premisa que los suelos llamados "latosoles" (40, 41, 68, 133), tienen como sinónimos más o menos a los suelos llamados lateríticos (9, 29, 77, 84, 118), ferralíticos (2, 19, 20, 23, 36, 110, 119, 131), kaolisoles (99, 132), rojos arcillosos de latitudes subtropicales (4, 24, 42, 53, 135) y oxisoles (140, 141).

Según Gedroits (51), las condiciones para la baja saturación y

destrucción del complejo de cambio, pueden ser más favorables en aquellas zonas de clima tropical, con altas temperaturas y donde no hay periodos secos dentro de la amplia precipitación pluvial. El agua que percola a través del perfil contiene mucho ácido carbónico, también iones hidrógeno, que desplazan las bases adsorbidas. Estas condiciones ocurren en las zonas húmedas tropicales y subtropicales, y donde los suelos tienen una óptima meteorización, que acompañados de una abundante acumulación de hidróxidos de hierro y aluminio y una fuerte pérdida de sílice, forman los suelos típicos llamados lateríticos.

Los suelos latosólicos y ferralíticos tienen características morfológicas casi similares; son a menudo profundos y sus horizontes presentan transiciones graduales, estructura granular o ligeramente tendiente a bloque subangular muy fino. La reserva de minerales alterables es pequeña, tienen alta porosidad, son friables y no muestran revestimientos de arcilla en los "peds".

2.5 Propiedades físicas y químicas de los latosoles

Bennema (5) indica que la característica fundamental de estos suelos es la naturaleza y constitución mineral de la masa del suelo; esta masa consiste de sesquióxidos, minerales arcillosos del tipo 1:1, cuarzo y minerales altamente resistentes a la mateorización y óxidos de aluminio. El contenido de limo en el solum es generalmente bajo; sin embargo, algunos latosoles como la "Terra Roxa" pueden tener altos contenidos de limo. También pueden haber concreciones de óxidos

de hierro, manganeso y aluminio en la masa del suelo.

Las siguientes características sirven para diferenciar los latosoles de los demás suelos, de acuerdo a Bennema (4).

1. Horizontes a menudo con transición difusa o gradual.
2. Ausencia o escasez de revestimientos de arcilla en los "peds" o arcillas de silicatos en los canales.
3. Baja capacidad de cambio catiónico de la arcilla o ausencia de minerales arcillosos de 2:1; ausencia o cerca de la ausencia de alofana con alta capacidad de cambio.
4. Colores rojo, amarillo o pardo de los horizontes del subsuelo o parte de él.
5. Ausencia o casi ausencia de arcilla natural electro negativa, en los horizontes del subsuelo que tienen la relación carbono/arcilla menor de 0.015.

En adición a estas propiedades y características, los latosoles típicos tienen:

6. Ausencia de un buen desarrollo de la estructura de bloques o prismática. Los elementos estructurales son a menudo gránulos muy finos, que pueden ser más o menos coherentes, formando al mismo tiempo una masa porosa, friable y maciza. Una débil o moderada estructura de bloque puede encontrarse en latosoles que pasan a otros suelos.
7. Solum profundo
8. Consistencia en húmedo muy friable o friable.

9. Alta porosidad y alta permeabilidad.
10. Baja saturación de bases en todo el perfil o menor en el subsuelo.
11. Valores relativamente altos de intercambio aniónico y fijadores altos de fósforo.
12. Cantidades relativamente bajas de aluminio cambiable, debidas a la baja capacidad de cambio efectiva de las arcillas.
13. Alta resistencia a la erosión, por su buena permeabilidad y su estructura porosa.

Bennema et al (5) en base a la definición del latosol modal descrito en el Brasil, dieron como características que diferencian el horizonte B de latosol, del horizonte B textural, las siguientes:

1. Contraste muy débil con otros horizontes, la transición es normalmente difusa o gradual.
2. No menos de 15% de arcilla.
3. Si la textura es pesada, la estructura generalmente es granular fina o muy fina, que forma una masa porosa con una coherencia muy débil, puede tener estructura bloque angular o subangular, pero compuesto de finos gránulos. Generalmente los revestimientos de arcilla no son contínuos y son débilmente desarrollados. La porosidad es alta.
4. Si el horizonte es de textura media, una estructura granular mucho más fina o muy fina asociada con grano simple formando una masa porosa de coherencia muy débil. La relación textural B/A es menor de 1,8.

5. La consistencia en húmedo es friable o muy friable.
6. El contenido de arcilla natural es normalmente bajo, menos de 1% en el B2, excepto cuando la relación Ki es muy baja y el pH medido en KCl es más alto que el medido en H_2O, o la relación carbono/arcilla es relativamente alta (C/arcilla más de 0.015).
7. El valor de Ki (relación molecular de SiO_2/Al_2O_3) es normalmente menor que 1,8, raramente entre 1,8 y 2,0.
8. La capacidad de cambio de cationes es pequeña y menor de 12 me./100 gr. de arcilla (Método del NH_4OAc).
9. Los minerales primarios sujetos a meteorización están prácticamente ausentes. Comprenden en conjunto menos de 4% de la fracción arena.
10. El contenido de limo es generalmente bajo. La relación limo/arcilla es normalmente menor de 0,25.

Sombroek (129) al describir las características de un latosol representativo de la zona Amazónica en el Brasil, coincide con las descritas por Bennema (5) e incluye otras como: la saturación de bases muy baja en los suelos con cobertura de vegetación natural; la capacidad de cambio potencial de cationes varía de cerca de 0 a 20 me./100 gr. de suelo, en suelos con bosque; el aluminio cambiable en el subsuelo representa alrededor del 20 a 25% de la capacidad potencial de cambio de cationes; la composición mineralógica de la fracción arcilla es muy uniforme, las relaciones moleculares de SiO_2, Al_2O_3 y Fe_2O_3 son muy constantes.

Harris (60) concuerda casi con todos los aspectos de las características que se expone para el latosol modal del Brasil; sin embargo, considera que la relación SiO_2/R_2O_3 y el color como criterio son de poco valor.

Ignatieff y Peterval Lemos (64), al referirse a algunos aspectos más importantes de los latosoles y su manejo, mencionan que son muy factibles de uso por las condiciones físicas favorables; sin embargo, las condiciones químicas son muy desfavorables, por la baja capacidad de cambio y la saturación de bases y por ser fijadores altos de fósforo.

Bonnet (9) al mencionar los cuatro grupos de latosoles existentes en Puerto Rico, indica que las características más prominentes son: baja actividad de la arcilla, bajo contenido de minerales primarios y bajo contenido de constituyentes solubles. Varios investigadores (21, 28, 45, 100, 102) que trabajaron con estos suelos concuerdan con las características descritas por Bonnet (9) y Roberts (108).

Van Der Merwe (89) al referirse a los suelos de la Unión Sud Africana, específicamente a los latosoles indica que las propiedades físicas son excelentes, pero son pobres en bases cambiables.

Sherman y Alexander (122) dan una descripción de las características de los latosoles bajos en humus en Hawaii. El solum en su totalidad mantiene una uniformidad en su composición química y mineralógica. El coloide principal es caolinita en más del 50%, con óxidos de hierro y pequeñas cantidades de gibsita. La relación sílice/ses -

quióxidos en la fracción arcilla va de 1,1 a 1,7, y la relación SiO_2/Al_2O_3 de 1,7 a 2,3. Estos suelos están localizados entre los 70 y 800 m.s.n.m.

Stephens (123) al referirse a los suelos lateríticos en Australia los describe como suelos profundos, con un horizonte comunmente arenoso o franco, con pequeñas cantidades de materia orgánica, con transición gradual a textura fina en B, en el que el color es rojo y de estructura granular. Stewart (125) también al referirse a estos suelos lateríticos australianos, menciona que en sus bases domina el catión calcio, pero en el subsuelo domina el magnesio y potasio.

Tanada (134) agrupa ciertas características que son más propiedades de latosoles, y menciona la capacidad de intercambio de cationes moderadamente baja, bajo en sílice, óxidos de hierro y titanio y la presencia de limonita en grandes cantidades.

Setzer da las siguientes características para un suelo latosólico (Terra Roxa) (120); pH 7 a 7,5, CIC 30 me./100 gr. de suelo; densidad aparente de 0,9 gr/cc., densidad de partículas de 3,0 gr/cc. y el porcentaje de porosidad de 67%.

Segalen (118) al referirse a los suelos lateríticos de Madagascar, describe las siguientes características; capacidad de intercambio de cationes, alto en los horizontes A por el contenido alto de materia orgánica, relación SiO_2/Al_2O_3 bajo.

Sacadura y Cardoso (112) dan la descripción de los suelos ferralíticos de las islas de Santo Tomás y de la Principe, mencionan que estas tienen horizontes A, B, C con pequeñas cantidades o nada de minerales meteorizables, la relación limo/arcilla en B y C debajo de 0,25; la arcilla con relaciones de SiO_2/R_2O_3 y SiO_2/Al_2O_3 debajo de 2. La caolinita y sesquióxidos predominan en la fracción arcilla; el CIC es bajo, el grado de saturación de bases en B y C generalmente menor a 40%.

Lobova (79) a los suelos ferralíticos del Asia Central los sitúa en la Banda Tropical, con contenido de humus de 3 a 5%, relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos mayor de 1, con predominancia de caolinita y gibsita, CIC menos de 10 me/100 gr. de suelo.

Muchos estudios de suelos (76, 78, 82, 85, 88, 97, 131, 132) llevados a cabo en Africa revelan para los suelos ferralíticos y lateríticos características comunes a los latosoles.

La información más completa de las características de los suelos latosoles, hoy llamados oxisoles, está descrita en la Séptima Aproximación (140, 141).

2.6 Latosoles en Costa Rica

En base al criterio de Kellogg (68, 69) sobre latosoles, varios autores (25, 26, 38, 39, 54, 55, 56, 57, 58, 62, 87) clasificaron como lateríticos y latosoles a los suelos de varias regiones de Costa Rica. Así, Dondoli y Torres (38, 39) hacen referencia a los suelos lateríticos de la región oriental de la Meseta Central.

Hardy (57), menciona la existencia de latosoles derivados de lava vieja, en las proximidades de la población de Turrialba y Paraíso. Otras derivadas de material sedimentario están localizadas en el valle del General.

Muchos estudios (96, 113, 137, 138, 142, 143, 144) informan la existencia de latosoles y que ocupan superficies de consideración, y que dentro de la economía agropecuaria de Costa Rica son de significación.

Harris et al. (61) al referirse a los suelos latosólicos de Costa Rica hace notar que pueden presentarse en áreas pequeñas, pero que no presentan características definitivas para considerarles como verdaderos latosoles, por su insuficiente meteorización. También Jaramillo (66) puntualiza que por falta de estudio del conjunto de características necesarias para la clasificación no hacen posible considerarlos como latosoles, y tentativamente a los latosoles de la zona del Pacífico los clasifica como red brown luvisol y Dystic cambisol.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación de los suelos estudiados

Los suelos caracterizados y clasificados en el presente estudio, se encuentran ubicados en las unidades fisiográficas denominadas en Costa Rica como vertiente del Atlántico y del Pacífico (87).

Los perfiles CR-55, CR-47, Serie Colorado y CR-32 (Serie Paraí - so), están ubicados en la vertiente del Atlántico, y los perfiles CR-46, CR-12, CR-17 y CR-20 en la del Pacífico.

La faja altitudinal en la que estos suelos están distribuídos varía entre los 300 a 1.300 m.s.n.m. en el área del Atlántico, y de 400 a 900 m.s.n.m. en la del Pacífico.

El clima del área Atlántica es tropical húmedo (62, 136). Las temperaturas medias nauales varían de 26º a 21,8ºC y la precipitación pluvial entre los 4.346 a 1.584 mm. anuales (27), sin marcada diferencia de precipitación entre los meses; excepto en el área de la Serie Colorado y el CR-32 (Serie Paraíso), donde en los meses de enero a abril se registran precipitaciones menores a 100 mm mensuales. En el resto de los meses la precipitación es mayor a los 200 mm. En la vertiente del Pacífico, el clima es tropical húmedo (62, 136). Las temperaturas medias anuales van de 24,2º a 25,7ºC y la precipitación pluvial es poco variable entre 2.686 a 3.296 mm anuales; las precipitaciones en los meses de diciembre a abril son consideradas las más bajas y alcanzan valores inferiores a 50 mm (27).

Estudios geológicos indican que el material de partida de los suelos del área Atlántica es de origen volcánico, formado de materiales lávicos, "laháricos" y sedimentarios, muy meteorizados (39, 91, 96). Los suelos del área del Pacífico en general se han formado sobre material sedimentario de origen volcánico, constituído de rocas de tipo diorítico, andesítico y basáltico altamente meteorizado (38, 109, 116).

La cobertura vegetal que tienen estos suelos en la actualidad es de pastizal. Es muy posible que la sabana de la zona Atlántica sea artificial; en la zona del Pacífico según Budowski (18) la sabana es predominantemente natural, donde los suelos son altamente meteorizados (38) y no permiten otro tipo de vegetación.

3.2 Trabajo de campo

3.2.1 Criterios para la ubicación de los perfiles

Las siguientes consideraciones fueron tomadas en cuenta en la selección del sitio para el estudio de perfiles:

a. Formación geomorfológica casi estable o estable, deducido en parte por la morfología de estos suelos.

b. Relieve ondulado o ligeramente ondulado, como característica asociada a la geomorfología.

c. Pendiente no mayor de 20%.

d. Formación geológica relativamente antigua, sedimentos del pleistoceno y lavas viejas (38, 39, 109).

e. Materiales altamente meteorizados, verificados por estudios (38, 39, 54, 57, 58, 62, 109).

f. Clima subtropical a tropical, con precipitaciones pluviales altas, como factor formador de estos suelos (27, 62).

g. Areas con precipitación pluvial más alta que la evapotranspiración (62, 113).

h. Vegetación del tipo de sabana o pastizales.

i. Suelos profundos, bien drenados, clasificados como lateríticos y latosoles (38, 39, 54, 55, 56, 57, 58, 62, 87).

j. Conocimiento de algunas propiedades físicas y químicas de estos suelos (12, 38, 39, 43, 48, 50, 54, 55, 56, 57, 58, 62, 103).

Con estos antecedentes se procedió a la apertura del perfil, éste representó funcionalmente los factores de desarrollo expresados en la morfología, las propiedades físicas y químicas de estos suelos.

La calicata que sirvió como base de estudio tuvo las siguientes características:

a. Profundidad en la mayoría de los casos más de 1,90 m.

b. Largo de 2 m por 1,50 m de ancho.

c. Orientación de Este a Oeste, con la finalidad de dar mayor iluminación a la sección a estudiarse.

d. Corte vertical en la sección de muestreo.

3.2.2 Descripción de perfiles

Para la descripción de las características morfológicas, físicas y de sitio, se siguió la técnica que recomienda la guía de F.A.O. pa-

ra la descripción de perfiles de suelos (98).

En el reconocimiento, separación y descripción individual de horizontes, se siguieron los criterios expuestos en la guía para la descripción de suelos (98), el Manual de Levantamiento de Suelos de USDA (139), del Boletín de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (128), y de la Séptima Aproximación (140).

3.2.3 Extracción de muestras por horizontes

Como base se siguió la técnica recomendada por Cline (22), pero mayormente se tomaron en cuenta las indicaciones del Dr. J.A. Martini*, que en forma resumida consistieron en separar con detalle los horizontes y extraer las muestras con el mayor cuidado y evitar la contaminación; para tal objeto se hicieron limpiezas frecuentes del perfil y la extracción se hizo de la parte central del espesor del horizonte y todo el largo expuesto de él.

La cantidad aproximada de muestra sacada fue de 1,5 kg. para los análisis físicos y químicos.

Las muestras para la determinación de la densidad aparente fueron extraídas por el método del cilindro, el número de muestras fueron de tres por horizonte.

---

* Comunicación personal, IICA, Turrialba, Costa Rica.

3.3 Trabajo de laboratorio

3.3.1 Preparación de muestras

En la preparación de muestras se siguió la técnica de Cline (22). El secado de muestras se hizo al aire, pero bajo sombra y en las condiciones de humedad relativa promedio (88%) reinante en Turrialba.

Después de secado se trituró y se tamizó en malla de 2 mm o tamiz nº 10 en el sistema americano, luego se procedió a la homogeneización por 20 minutos en la máquina mezcladora del tipo "Twin Shell Dry Blender". De esta mezcla se separó una submuestra de 200 gr la cual fue molida y tamizada en malla de 0,12 mm o tamiz nº 120, esta submuestra fue utilizada para la determinación de nitrógeno total y elementos totales.

3.3.2 Determinaciones físicas

3.3.2.1 Humedad en suelos secados al aire

Por las condiciones de humedad relativa alta (88%) que tiene Turrialba, y la influencia que tiene esta humedad en el peso del suelo tomado para la determinación, es que se recomendó expresar los resultados en peso seco a 105ºC.

Con este objeto se adoptó la técnica que consistió en pesar exactamente 20 gr de suelo seco al aire en una caja de metal de peso conocido y de capacidad de 50 ml. Luego se sometió al secado por 24 horas a temperaturas de 105º ó 110ºC y por diferencia de pesadas se determinó el peso seco del suelo a 105ºC. Los cálculos se hicieron aplicando la fórmula siguiente:

$$Mp = Mpa/(1+H/100)$$

Donde: Mp = Masa de las partículas del suelo seco a 105ºC.

Mpa= Masa del suelo seco al aire

H = % de humedad del suelo

3.3.2.2 Densidad aparente

La densidad aparente es una medida común de importancia en la relación entre los sólidos y los poros en un momento dado.

Los suelos muestreados contenían casi el 40% de humedad en el momento del estudio.

La masa del suelo fue determinada después del secado a 105ºC, y el volúmen en el campo con el cilindro muestreador.

Para esta determinación se siguió la técnica de Blake (7), que recomienda el uso del muestreador cilíndrico de metal, con este objeto se usó cilindros de metal de 7 cm de diámetro por 7,5 cm de altura, aproximadamente. Se introdujo el muestreador al suelo con la ayuda de un martinete cilíndrico de 15 libras de peso. Se extrajo la muestra en el cilindro y se emparejó, luego se hizo la remoción con la ayuda de una espátula, y se recogió la muestra en cajas cilíndricas de metal de capacidad de 500 gr y de peso conocido. La caja más la muestra húmeda se sometió al secado por 24 horas a temperatura de 105ºC.

Después del secado y por diferencia de pesadas se obtuvo el peso de la masa del suelo a 105ºC y se relacionó con el volúmen del ci-

lindro medido exactamente.

La fórmula generalizada para el cálculo de esta propiedad es:

$$Db = \frac{M}{V}$$

Donde:

Db = Densidad aparente en gr/cc

M = Masa del suelo seco a 105ºC

V = Volumen del cilindro metálico muestreador, determinado con precisión.

3.3.2.3 Densidad de partículas

Para esta determinación se usó la técnica original de Blake (8), adoptada y modificada por Forsythe (47). El procedimiento consistió en utilizar kerosene como medio desplazante del aire y con el objeto de evitar el problema del mojado incompleto que ocurre en suelos arcillosos cuando se usa agua como medio desplazante. De acuerdo a la técnica se pesó 110 a 130 gr de suelo seco a 105ºC y se puso en volumétrico de 250 ml calibrado previamente y de peso conocido; luego se pesó exactamente volumétrico más suelo y se agregó 100 ml de kerosene de densidad conocida y se mezcló completamente; se puso a hervir suavemente en una estufa eléctrica, se agitó suavemente con frecuencia, luego se dejó hervir por 2 a 3 minutos para eliminar el aire del suelo.

Se dejó enfriar durante la noche, luego casi se llevó a volumen con kerosene hervido y enfriado, se mezcló e inmediatamente se tomó la temperatura, se llevó a volumen y se pesó.

La densidad de partículas fue calculada en base a la masa del suelo seco a 105ºC y el volumen del suelo, considerando que el volumen del suelo es igual al volumen del frasco menos el volumen del kerosene añadido al suelo.

3.3.2.4 Porcentaje de porosidad

El principio en el cual está basado el método para determinar el porcentaje de porosidad es simplemente en la determinación de la densidad aparente y la de partículas. Con este fin se hizo la relación entre estas dos densidades y se restó de 1 y se multiplicó por 100.

La fórmula generalizada para el cálculo es:

$$St = 100 \ (1 - (Db/g_p)) \quad (145)$$

Donde:

St = Porcentaje de porosidad

Db = Densidad aparente en gr/cc

g_p = Densidad de partículas

3.3.2.5 Retención de humedad

Básicamente, se usó el método de Richards (107), de acuerdo con la técnica se puso en un anillo de 3,5 cm de diámetro y 1,2 cm de alto, 5 gramos aproximadamente de suelo seco al aire y tamizado en malla de 2 mm. Se saturó el suelo con agua destilada por un período de 24 horas en platos porosos de 5 y 15 bares de resistencia; cada muestra se saturó en triplicado.

Para la extracción del agua retenida se utilizó el equipo de de-

terminación de humedad, diseñado por la fábrica Santa Bárbara de California, U.S.A.

Los suelos saturados fueron puestos en las cámaras de presión y se les aplicó presiones correspondientes a tensiones de 0,1, 0,33, 1, 5, 10, y 15 bares por 24 horas, después de los cuales la muestra fue recogida en caja de metal (50 gr de capacidad) de peso conocido, luego fueron pesadas y secadas por 24 horas a temperatura de 105ºC, después del secado se volvió a pesar y por diferencia de pesadas se determinó el contenido de humedad retenida en cada tensión.

Durante la prueba se mantuvo la temperatura constante en la habitación donde se encontraba el equipo.

3.3.2.6 Dispersión de arcilla en agua

En base a la información obtenida en la Séptima Aproximación (141) referente a la arcilla dispersada en agua por 16 horas, tuvo que adaptarse una técnica. En resumen consistió en pesar 10 gr de suelo seco al aire y tamizado en 2 mm de malla, y se puso en un frasco de plástico de dimensiones 5,5 cm de diámetro por 10 cm de altura (capacidad de 250 ml aproximadamente). En el frasco se marcó la altura de 5 cm como punto de referencia del nivel de la mezcla suelo-agua (100 ml de agua aproximadamente), esta mezcla se sometió a agitación por 16 horas, al final de las cuales se dejó en reposo por el tiempo de 4 horas, para permitir la sedimentación de las fracciones superiores a 2 micras. Al cabo del tiempo de sedimentación, se obtuvo en la suspensión, partículas coloidales menores a 2 micras, de esta suspensión

se pipeteó 20 ml a un vaso de precipitación de 25 ml de capacidad y se secó a 105ºC por 24 horas. El contenido de arcilla se determinó gravimétricamente. Este cálculo se efectuó en base al volumen total de la suspensión, la alicuota pipeteada y el peso de suelo utilizado para la determinación.

3.3.2.7 Análisis granulométrico

Se siguió el método combinado de hidrómetro y tamizado, originalmente expuesto por Bouyoucos (13) modificado por Day (30) y adaptado por Forsythe (46).

En forma resumida la técnica consiste en pesar 40 gr de suelo seco al aire, al que se le destruyó la materia orgánica con peróxido de hidrógeno al 30%; luego se añadió 125 ml, de calgón (dispersante químico) al 5%; esta mezcla se agitó en una copa de dispersión por 10 minutos. La suspensión fue transferida a un cilindro de sedimentación de 1000 ml de capacidad, donde se llevó a volumen y se homogeneizó y se hicieron las lecturas a 30 segundos, 1, 4, 8, 36, 100, 196 y 480 minutos, al mismo tiempo se tomaron las temperaturas.

Las lecturas del hidrómetro fueron corregidas según las condiciones de temperatura y viscosidad de la suspensión.

Para los cálculos del porcentaje de la fracción arcilla y limo se relacionó el porcentaje acumulado con el tamaño de las partículas en un diagrama preparado en papel semilogarítmico de 3 ciclos.

Las fracciones de arena fueron separadas en tamices Nº 18, 35, 60, y 270 del sistema americano.

Todas las fracciones fueron clasificadas de acuerdo al sistema USDA (139) y la clase textural definida con el triángulo de texturas.

3.3.2.8 Determinación del color

El color fue determinado en húmedo (cerca de capacidad de campo), y en seco al aire. Como comparador de colores se utilizó la carta Munsell de colores (93) para suelos. Las medidas se hicieron en condición de suelo semidisturbado.

3.3.2.9 Separación de la fracción arcilla

Se siguió la técnica de Kunze (75), que en forma somera consiste en los siguientes pasos: A 20 gr de suelo seco al aire se lavó por dos veces con 50 ml de acetato de sodio 1N pH 5. Se quemó la materia orgánica con H202 (30%), después de la oxidación de la materia orgánica se lavó una vez con acetato de sodio y dos veces con etanol (95%). Se extrajo el hierro con 40 ml de citrato de sodio 0,3 M y 5 ml de NaHCO3 1.M, en caliente se añadió diotionito de sodio y se repitió esta operación dos veces, luego se lavó dos veces con etanol. Para la extracción del aluminio se puso a hervir con carbonato de sodio al 2% en vaso de niquel la muestra tratada. Luego se hizo la separación por tamices de las fracciones de arena, y por sedimentación las fracciones de limo y arcilla.

3.3.3 Determinaciones químicas

3.3.3.1 Reacción del suelo (pH)

Esta determinación se efectuó en dos tipos de solución, una acuosa con una relación en la mezcla de suelo-agua de 1:1, y la otra con cloruro de calcio 0,01 M con relación 1:2.

Para esta determinación se siguió la técnica recomendada por Peech *et al.* (101). Las medidas de pH fueron tomadas con potenciómetro marca Beckman, modelo N con electrodo de vidrio.

Los resultados fueron interpretados y clasificados de acuerdo a la escala del manual de Levantamiento de Suelos de USDA (139).

3.3.3.2 Materia orgánica (M.O)

Se determinó en base al método de Walkley y Black, modificado por Saiz del Río y Bornemisza (114). Según la técnica se peso 1,0 gr de suelo seco al aire y tamizado en malla de 0,125 mm, se colocó en matraz erlenmeyer de 200 ml, se añadió 20 ml de la solución dicromato de potasio 1 N con pipeta y se agitó bien. Luego se añadió lentamente con agitación constante 20 ml de ácido sulfúrico concentrado y se agitó por 1 minuto más. Se dejó en reposo la solución durante 30 minutos, agitándola ocasionalmente. Se transfirió después a un volumétrico de 250 ml y se enrasó con agua. De esta solución enfriada se tomó una alicuota de 25 ml, y se devolvió al erlenmeyer original y se añadió 3 ml de ácido fosfórico y 5 gotas de difenilamina. La solución se valoró con la sal de Mohr (solución aproximadamente de 0,1 N de $SO_4(NH_4)_2SO_4Fe.\ 6H_2O$, más 500 ml de agua destilada y 20 ml de

H_2SO_4 concentrado y aforado a 1 litro) hasta que el color del indicador vire de azul oscuro a verde claro.

El cálculo se hizo aplicando la fórmula siguiente:

% MO = (N x ml $Cr_2O_7K_2$ - N x ml Sal de Mohr x 10) 0,67

3.3.3.3 Nitrógeno total

Se determinó por el método semimicro de Kjeldhal de Bremmer (16) modificado por Díaz-Romeu*, en el que a 1 gr de suelo tamizado en 0,125 mm de malla, se le agregó 1,8 gr de la mezcla catalizadora (100 gr de K_2SO_4, 10 gr de $CuSO_4$ y 1 gr de selenio), ambos fueron puestos en un balón de 100 ml de capacidad, y se agregó 5 ml de ácido sulfúrico concentrado, se dejó en reposo durante 12 horas, luego se puso a digerir por 2 horas, se dejó enfriar, se le agregó aproximadamente 30 ml, de agua destilada y de 12 ml de Na)H 1:1, se destiló durante 10 minutos, recogiendo el destilado en 20 ml de H_3BO_3 al 2% y luego se tituló con H_2SO_4 0,02. N.

3.3.3.4 Oxidos de hierro libre

Se usó básicamente la técnica de Kilmer (71), modificado por Bornemisza e Igue (12). De acuerdo con la técnica se pesó 4 gr de suelo seco al aire, tamizado en malla de 0,84 mm y se puso en frasco de plástico de capacidad de 200 ml, luego se le agregó 4 gr de ditionito de sodio y 75 ml de agua destilada. Esta mezcla se agitó por

---

* Comunicación personal, IICA, Turrialba, Costa Rica.

más de 12 horas y se centrifugó por 5 minutos con el objeto de sedimentar todas las fracciones del suelo, al supernatante se ajusto el pH de 3,5 - 4,0 con HCl al 10%. El supernatante se filtró y se recogió en un volumétrico de 100 ml y se enrasó con agua. Para las lecturas se hicieron diluciones de 1:100 y en éstas se midió el elemento hierro con el espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elemer, modelo 303.

Para los cálculos se preparó la curva patrón en base a las lecturas de soluciones patrones.

3.3.3.5 Aluminio extraible

Se siguió la técnica propuesta por McLean (81), donde el aluminio es extraído con acetato de amonio normal a pH 4,8. Esta técnica coincide con la fase de extracción de la solución A de capacidad de intercambio de cationes en condición de pH 4,8.

La determinación se efectuó por colorimetría, para desarrollar el color se usó aluminona (ácido aurintricarboxílico). La intensidad del color se midió en un fotocolorímetro universal Coleman, modelo 14, se usó para las lecturas longitud de onda luz de 537 u.

Los cálculos se hicieron en base a la curva patrón, preparado con lecturas de soluciones patrones.

3.3.3.6 Capacidad de intercambio de cationes del suelo, limo y arcilla

Para determinar la capacidad de intercambio de cationes, se usó la técnica de Bower, et al. (14), modificado por Díaz-Romeu y Balerdi (37). El método consistió en saturar 5 gr de suelo seco al aire, por 3 veces con 30 ml de solución extractora de acetato de amonio de pH 7,0 ó pH 4,8, el lavado de los tres saturados se recogió en volumétrico de 100 ml y fue llevado a volumen con la misma solución extractora. A este extracto se denominó A, en la que se determinó las bases cambiables y el aluminio extraíble; para extraer el catión aluminio se usó la solución extractora de pH 4,8.

Después de desplazar los cationes, se lavó con etanol al 95% el exceso de acetato de amonio. Luego se saturó el suelo con cloruro de potasio al 10% y de pH 2,5, con el objeto de desplazar el amonio adsorbido; se hizo tres extracciones con 30 ml cada vez, se recogió el extracto en volumétrico de 100 ml y fue llevado a volumen, a este extracto se le denominó B, donde se determinó por destilación del amonio en un aparato semi-micro de Kjeldahl la capacidad de intercambio de cationes.

Para la determinación de la capacidad de intercambio de cationes de las fracciones limo y arcilla, se siguieron los mismos pasos que para el suelo, con la única diferencia de los pesos, que para el limo se usó 1,0 gr y para la arcilla se pipeteó 20 ml, en este caso se considera el peso conocido de la arcilla en los 20 ml.

Para el cálculo se aplicó la siguiente fórmula:

$$CIC = \frac{ml \times N \times 100 \times 5}{p}$$

Donde: CIC = Capacidad de intercambio de cationes

ml = Mililitros de ácido gastado en la titulación

N = Normalidad del ácido usado para titular el NH_4 destilado.

100 = Gramos de suelo sobre el que se expresa

5 = Alicuota tomada para la destilación o sea la quinta parte (20 ml de 100 ml) del extracto B.

p = Peso del suelo expresado en seco a 105ºC.

3.3.3.7 Determinación de bases cambiables

Las bases cambiables fueron determinadas en el extracto A, obtenido con acetato de amonio. Las lecturas se efectuaron en el espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer modelo 303). Con las lecturas se hicieron los cálculos en base a las curvas patrón preparadas para catión.

3.3.3.8 Fósforo extraíble por fluoruros

Para esta determinación se usó el método de Bray y Kurtz n.1 (15), modificado por Saiz del Río y Bornemisza (114). De acuerdo con la técnica se pesó 2,85 gr de suelo seco al aire, y se puso en un erlenmeyer de 50 ml junto con 20 ml de la solución de ácido clorhídrico 0,025 N y fluoruro de amonio 0,03 N. Se agitó durante 1 minuto. La suspensión se filtró, del filtrado se pipeteó 2 ml a un tubo

de colorimetro y se puso 5 ml de agua destilada; luego se añadió 2 ml de molibdato de amonio y se agitó, se adicionó 1 ml de la solución de cloruro de estaño y se mezcló rápidamente para desarrollar el color azúl. Las lecturas se hicieron en el fotocolorímetro universal Coleman modelo 14, en una longitud de onda de luz de 660 u. Los cálculos se efectuaron en base a la curva patrón.

3.3.3.9 Potasio y hierro totales

Se usó el método de Brannoch y Berthold y de Shapiro y Brannock, modificado por Martini (86).

En forma somera consistió en pesar 0,25 gr de suelo seco al aire tamizado en 0,125 mm de malla y se puso en un crisol de platino de 30 ml de capacidad, se agregó 3 ml de ácido sulfúrico 1:1 y 100 ml de ácido fluorhídrico concentrado. Se puso a digerir por 15 horas sobre una plancha eléctrica, a temperatura baja, se dejó enfriar y se lavó la pared interna del crisol y la tapa, se recibió el lavado en el mismo crisol. Se puso a evaporar el contenido del crisol hasta un volumen de 3 ml, luego se dejó enfriar y se le agregó 10 a 20 gotas de ácido nítrico concentrado y se puso nuevamente en la plancha a temperatura alta hasta que los vapores blancos del ácido nítrico desaparecieran. Luego se dejó enfriar y se agregó agua destilada casi hasta llenar el crisol, y se calentó a temperatura alta, para homogeneizar la solución, se enfrió y se transfirió a un volumétrico de 50 ml. En esta solución se determinó el potasio y hierro totales. Las lecturas se hicieron en el espectrofotómetro de absorción atómi-

ca. Los cálculos , fueron hechos en base a las curvas de patrón correspondientes a soluciones patrón.

3.3.3.10 Silicio, calcio, magnesio y aluminio totales

Para la determinación total de estos elementos se siguió la técnica que recomienda Jackson (65). La marcha analítica comienza con la fusión del suelo con carbonato de sodio anidro en cápsulas de platino, y deshidratación con ácido perclórico, a temperaturas superiores a 200ºC. En esta solución se separó el silicio de los cationes metálicos, para lo cual se aplicó HCl 6 N y se precipitó el silicio, el supernatante se transfirió a un tubo de centrífuga, y el precipitado a un vaso de níquel de 500 ml se hizo los lavados de restos del precipitado con ácido clorhídrico 1,2 N y se añadió 2,5 gr de lentejas de NaOH a la suspensión contenida en el vaso de níquel, se puso a hervir por 5 minutos a fin de disolver el SiO_2, luego se enfrió y transfirió a volumétricos de 100 ml; en esta solución se determinó el silicio.

En el supernatante que quedó después del precipitado del silicio se procedió a la separación, mediante el NH_4OH 4N los cationes calcio, magnesio, sodio y potasio de los sesquióxidos de hierro y aluminio.

Las bases se determinaron en el supernatante y los sesquióxidos que precipitaron fueron tratados con NH_4Cl al 1%, al precipitado formado se trató con HCl 6N y se obtuvo una solución y se añadió a ésta. 10 ml de NaOH al 2%, se ajustó la solución a pH 4,2 y en ésta se determinó el aluminio total.

Los elementos calcio y magensio fueron medidos en el espectrofotómetro de absorción atómica; el silicio y el aluminio en el fotocolorímetro Coleman.

Los cálculos fueron hechos en base a las curvas patrones.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados y la discusión de las características morfológicas, físicas y químicas de cada perfil son presentadas a continuación.

Para la clasificación de estos suelos y de acuerdo con el enunciado de Kellogg (70) sobre el propósito de la clasificación de suelos y a fin de cumplir con ello, se utilizaron todas las características significativas y asociadas del suelo. El sistema de clasificación americano de suelo, Séptima Aproximación (140, 141), llena los requisitos del propósito, razón por la cual se tomó como base para la clasificación de estos suelos.

4.1 Perfil 1 (CR-55)

4.1.1 Información del sitio

Nombre del suelo	:	Latosol (62, 96)
Localidad	:	San Jorge del Arenal, 34 Kms al noreste de ciudad Quesada, provincia de Alajuela. 10° 34' N. 8[illegible] 17' O.
Elevación	:	300 m.s.n.m.
Fecha de observación	:	15 de octubre 1968
Autor	:	M. Macías
Forma de la tierra	:	Ondulada
Fisiografía del sitio	:	Terraza ondulada
Forma del campo en los alrededores	:	Terrazas onduladas
Pendiente	:	4%, pendiente suave.

Vegetación : Pastizal natural (antes bosque natural). Bosque húmedo tropical transición a perhúmedo. Piso basal (136).

Clima : Tropical húmedo (136). Precipitación pluvial de 3.383 mm y temperatura 26,2°C (27).

Material parental : Aluviones, lahares del pleistoceno cuaternario (62, 96).

Drenaje : Bien drenado

Condiciones de humedad en el suelo : Moderadamente húmedo

Profundidad de la tabla de agua : Muy profundo

Evidencia de erosión : Erosión no aparente a moderadamente erosionado.

Influencia humana : Desmonte y quema de troncos, quema anual del pasto natural.

4.1.2 Descripción general del perfil

Suelo típico de lomerío amplio, muy profundo, bien drenado, rojo, lixiviado, sin piedras, con moteado y concreciones amarillas y negras a 140 cm de profundidad.

Desde los 35 cm a 140 cm de profundidad se presenta una microestructura granular muy fina.

De 0 a 35 cm se observa presencia de minerales oscuros y otros incoloros de tipo cuarzo.

4.1.3 Descripción individual de los horizontes

A1 0-15 cm. Pardo oscuro (7,5YR 3/2) en húmedo y gris rojiso oscuro (5YR 4/2) en seco, arcilloso; estructura bloque subangular, fino, fuerte; adherente, plástica, firme en húmedo, duro en seco; sin revestimientos, raíces finas y abundantes; límite claro, plano.

A3 15-35 cm. Pardo rojizo oscuro (5YR 3/4) en húmedo y pardo rojizo (5YR 4/4) en seco, arcilloso; bloque subangular, mediano, moderado; adherente, plástica, friable en húmedo, duro en seco; sin revestimientos, raíces finas, abundantes; límite claro, plano.

B1 35-60 cm. Rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo y rojo amarillento (5YR 5/6) en seco, arcilloso; estructura bloque subangular, grueso, moderado; adherente, plástica, friable en húmedo, duro en seco; revestimientos moderadamente gruesos, contínuos; raíces muy finas y comunes; límite gradual,plano.

B21 60-90 cm Rojo amarillento (5YR 5/6) en húmedo y pardo rojizo (5YR 5/4) en seco, arcilloso; estructura bloque subangular, grueso, moderado, adherente, plástico, friable en húmedo, duro en seco; revestimientos moderadamente gruesos, contínuos; raíces muy finas, pocas; límite gradual, plano.

B22 90-140 cm. Pardo rojizo (5YR 4/4) en húmedo y pardo rojizo (5YR 5/4) en seco, arcilloso; moteado, poco, mediano, prominente, nítido; estructura bloque subangular, grueso, moderado, adherente, plástica, friable en húmedo, duro en seco; revestimientos moderadamente gruesos, contínuos; raíces finas, muy pocas; límite gradual, plano.

B3 140-190 cm. Pardo rojizo (5YR 4/6) en húmedo y pardo rojizo (5YR 5/4) en seco; arcilloso; moteado poco, mediano, prominente, nítido; estructura bloque subangular, grueso, moderado, adherente, plástico, friable en húmedo, duro en seco; revestimientos moderadamente gruesos y continuos; raíces finas, muy pocas.

4.1.4 Discusión

La buena profundidad del perfil, el espesor y la secuencia de los horizontes inducen a definir como suelos bien desarrollados.

El color pardo de los horizontes A tiene relación con el contenido alto de materia orgánica y los rojos de los B con los porcentajes altos de óxidos de hierro; el "chroma" alto de los B posiblemente es debido a la influencia de los ácidos fúlvicos, criterio que Papadakis (99) usa como relación.

El tipo, tamaño, y el grado de estructura está asociada a la materia orgánica y al contenido de arcilla en los horizontes A, y al contenido de arcilla y óxidos de hierro en los B.

CUADRO 1.- Características físicas del perfil 1 (CR-55)

Horizonte	Profundidad (cm)	Distribución de partículas: Arena muy gruesa y Arena gruesa (%)	Arena media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase Textural
A1	0 - 15	0,28	0,36	11,24	1,12	10,0	77,0	Arcilloso
A3	15 - 35	0,06	0,12	2,70	0,12	13,5	83,5	Arcilloso
B1	35 - 60	0,04	0,15	2,69	0,12	5,0	92,0	Arcilloso
B21	60 - 90	0,02	0,08	1,59	0,01	6,0	92,4	Arcilloso
B22	90 -140	0,23	0,41	3,84	0,02	3,5	92,0	Arcilloso
B3	140 -190+	0,65	0,60	5,74	0,01	2,0	91,0	Arcilloso

Horizonte	Arcilla dispersada en agua (%)	Densidad aparente (rango) (gr/cc)	Densidad partículas (gr/cc)	Porosidad (%)	Retención de humedad: Saturado (%)	0,1 bar (%)	1/3 bar (%)	1 bar (%)	5 bares (%)	10 bares (%)	15 bares (%)
A1	18,0	1,03-1,10	2,58	58,8	98,5	50,1	41,0	38,7	36,5	29,1	28,3
A3	3,3	0,96-1,09	2,66	61,7	83,1	49,0	39,7	37,4	37,3	30,5	30,2
B1	0,2	1,06-1,07	2,68	60,3	84,7	55,3	43,3	41,1	40,7	34,5	33,0
B21	0,1	1,08-1,13	2,69	58,9	90,2	57,6	45,0	42,7	41,7	37,0	36,7
B22	0,5	1,09-1,13	2,70	58,7	87,4	58,7	45,2	43,2	43,2	36,9	35,6
B3	0,04	1,09-1,13	2,70	58,6	87,2	58,9	46,8	43,3	40,8	37,0	36,7

CUADRO 2.- Características químicas y análisis elemental del perfil 1 (CR-55)

Horizonte	pH		Materia orgánica (%)	Carbón orgánico (%)	Nitrógeno Total (%)	C/N	Fósforo soluble (ppm)	Oxidos de hierro libres (% Fe2O3)
	H2O	CaCl2 0,01 M						
A1	5,3	4,8	9,4	5,5	0,50	10,9	0,02	5,68
A3	5,6	4,9	3,4	1,9	0,18	10,8	Trazas	5,63
B1	5,7	5,0	2,5	1,5	0,14	10,4	Trazas	7,12
B21	5,5	4,5	1,6	1,0	0,10	9,7	Trazas	7,25
B22	5,6	4,6	1,3	0,8	0,08	9,5	Trazas	7,35
B3	5,1	4,4	0,8	0,5	0,07	6,6	Trazas	7,84

Horizonte	Elementos totales ****						Relaciones moleculares ****		
	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	K2O (%)	CaO (%)	MgO (%)	SiO2/Al2O3	SiO2/R2O3	Al2O3/Fe2O3
A1	40,0	21,2	13,5	0,97	0,21	0,20	3,2	2,28	2,4
A3	39,2	23,4	14,0	0,69	0,85	0,15	2,8	2,00	2,6
B1	38,6	21,2	13,3	1,02	0,05	0,09	3,0	2,21	2,4
B21	37,7	29,3	13,0	0,70	0,05	0,09	2,2	1,70	3,5
B22	37,7	26,2	13,3	0,45	0,04	0,07	2,4	1,85	3,0
B3	37,3	20,4	13,3	0,64	0,01	0,07	3,1	2,19	2,4

**** Determinado en el suelo.

CUADRO 3.- Complejo de cambio del perfil 1 (CR-55)

Horizonte	Meq. determinados/100 gr. de suelo					Meq. determinados/100 gr. de suelo						Meq. determinados/100gr. de	
	CIC*	Bases cambiables			S.B* (%)	CIC*	Bases cambiables			Aluminio extraible **	S.B.** (%)	Arcilla CIC *	Limo CIC *
		Ca*	Mg*	K*			Ca**	Mg**	K**				
A1	25,4	3,9	1,3	0,12	20,9	23,1	5,3	1,3	0,15	3,2	29,2	27,9	6,8
A3	24,2	2,8	0,9	0,06	15,5	21,8	2,6	1,0	0,08	2,2	16,9	26,3	4,5
B1	28,3	2,6	1,1	0,05	13,2	19,3	2,6	1,0	0,07	1,8	19,0	23,5	7,2
B21	28,4	1,8	0,8	0,03	9,3	18,9	0,5	0,9	0,04	2,8	7,7	27,8	8,7
B22	27,0	0,8	0,6	0,03	5,3	20,8	0,2	0,6	0,03	4,1	3,9	28,1	7,6
B3	26,7	0,7	0,4	0,03	4,2	24,1	0,1	0,4	0,03	6,0	2,3	25,7	4,5

Horizonte	CIC arcilla *** (calculada) Meq./100 gr.	Relaciones entre bases							
		Ca/Mg*	Ca/K*	Mg/K*	Ca+Mg/K*	Ca/Mg**	Ca/K**	Mg/K**	Ca+Mg/K**
A1	33.0	3,0	32,5	10,8	43,3	4,0	35,3	8,6	44,0
A3	29,1	3,1	46,7	15,0	61,6	2,6	32,5	12,5	45,0
B1	30,7	2,4	52,0	22,0	74,0	2,6	37,1	14,2	51,4
B21	30,7	2,3	60,0	26,7	86,6	0,6	12,5	22,5	35,0
B22	29,3	1,3	25,7	20,0	46,6	0,3	6,6	20,0	26,6
B3	29,3	1,8	21,0	13,3	36,6	0,2	3,3	13,3	16,6

* Determinado con Acetato de Amonio pH 7.0
** " " " " " pH 4.8
*** $\frac{\text{CIC del suelo x 100}}{\text{\% arcilla}}$
S.B. Saturación de bases.

Los valores altos de arcilla dispersable en agua tienen relación con el alto contenido de la materia orgánica y los bajos con los óxidos de hierro, en este caso el hierro actúa como cementante, e imparte estabilidad a la estructura.

Según un estudio (111) la plasticidad es debida al alto contenido de óxido de silicio, y la friabilidad al alto contenido de óxidos de hierro, es posible que en estos suelos se cumpla esta relación.

El contenido mayor de arcilla en los horizontes B posiblemente se deba al proceso de iluviación, y como evidencia los revestimientos de arcilla en dichos horizontes.

El límite gradual de los horizontes B es característico de los suelos altamente meteorizados y una génesis muy avanzada, como ocurre en los latosoles (4, 69).

La densidad aparente cae dentro del valor promedio asignado a los suelos minerales (17). La densidad de partículas de los horizontes A son inferiores al valor promedio de 2,65 (17), y en los B son superiores; estos valores coinciden con los contenidos de materia orgánica de los horizontes A, y los óxidos de hierro en los B.

En la porosidad se refleja la baja densidad aparente y altos contenidos de materia orgánica y arcilla.

Los porcentajes de humedad gravimétrica y volumétrica tienden a ser medianos; el agua disponible generalmente baja (inferior a 10%). Los valores en saturado discrepan con el porcentaje de porosidad, posiblemente por la determinación en suelo disturbado.

El alto contenido de aluminio extraible, la baja saturación de bases hacen que estos suelos tengan una reacción ácida.

La capacidad de intercambio de cationes determinada en el suelo y la arcilla no muestran casi variaciones, posiblemente por el alto contenido (90%) de arcilla, y quizá por la alta estabilidad estructural de la arcilla de que presentan al tratamiento con ditionito de sodio, aunque según Deb (32) el ditionito de sodio no produce alteración en la estructura de la fracción arcilla.

La CIC a pH 7 es ligeramente más alta que en pH 4,8, lo cual demuestra que la carga dependiente del pH alcanza aproximadamente a 9 me/100 gr de suelo y la permanente llega aproximadamente a 20 me/100 gr de suelo.

Por los altos contenidos de óxidos totales de silicio, aluminio y hierro y por tratarse de suelos arcillosos se pueden deducir que se tratan de suelos altamente meteorizados. Es posible que la mayor parte de óxido de silicio forma parte de mineralogía de la arcilla y de esta manera se puede coincidir con el criterio de Ellis (42) de que al ser removida la silice hay un enriquecimiento de arcilla, aluminio y hierro.

Si se toma en cuenta las relaciones moleculares de SiO_2/Al_2O_3, SiO_2/R_2O_3, y Al_2O_3/Fe_2O_3, como criterio para juzgar el grado de meteorización, se observa que tienen relaciones que no se ajustan a los requerimientos de latosoles o suelos altamente meteorizados.

4.1.5 Clasificación del perfil CR-55 y discusión de sus categorías

El perfil CR-55 y los suelos de áreas adyacentes a este perfil, de acuerdo a sus características morfológicas, físicas, químicas, de clima y material parental son clasificados en las siguientes categorías (140, 141).

Orden : Ultisol

Sub-orden : Humults

Gran grupo: Palehumults
Sub-grupo : Typic Palehumults
Familia : Clayey, mixed, isohyperthermic

Los criterios para la clasificación en las categorías antes mencionadas son discutidas a continuación:

Criterio para el Orden

Previamente se analizó en los horizontes profundos el horizonte diagnóstico, se verificó la existencia del horizonte argílico y se calificó como tal a los horizontes B, por reunir las siguientes características:

1. El contenido de la fracción arcilla en los horizontes B es superior a los 40%.
2. El incremento de la fracción arcilla en el horizonte B con relación a A es superior al 8%, y este incremento se opera en una distancia vertical de 25 cm.
3. De una manera en general los horizontes B (iluvial) muestran revestimientos de arcilla moderadamente gruesos y continuos en los "peds".
4. El límite entre los horizontes A3 y B1 es claro.

Por la existencia del horizonte argílico, se presentaron dos alternativas para definir el orden, una para Ultisol y la otra para Alfisol; este último fue descartado ya que este perfil presenta una saturación de bases baja en todo el horizonte argílico y en los horizontes superiores.

Además las siguientes características de este perfil definen a estos suelos como Ultisoles:

1. No tienen fragipan y el porcentaje de saturación de bases es menor de 35% a los 1,25 m debajo del borde superior del horizonte argílico ó 1,8 m debajo de la superficie.
2. No tiene plintita de fase contínua entre los 30 cm de la superficie del suelo.
3. Se supone que la temperatura media del suelo en esta área es más alta que 8ºC, y la diferencia de la temperatura del suelo entre las medias de verano e invierno es de 5ºC.

A continuación se discuten los criterios que sirven de base para considerar a estos suelos como del Sub-orden Humults:

1. Tienen más de 1,5% de materia orgánica (0,87% de C) en los 15 cm superiores del horizonte argílico.
2. Tiene más de 20 kg de materia orgánica en una unidad de volumen de 1 m cuadrado a la profundidad de 1 m debajo del horizonte O.
3. Nunca están saturados con agua.

Las siguientes características conducen a considerar a estos sue

los dentro del Gran Grupo Palehumults:

1. Se supone que tienen en su horizonte argílico menos del 10% de minerales meteorizables por el contenido bajo (3 a 6%) de la fracción limo.
2. Por la distribución de la fracción arcilla, la cual no alcanza niveles menores de 20% en un máximo de 1,5 m o desde la superficie.

Las características necesarias para ubicar dentro del Sub-grupo Typic Palehumults, son explicadas a continuación:

1. Tienen más de 24 me de capacidad de cambio de cationes por 100 gr de arcilla (determinado en NH_4OAc) en la mayor parte del horizonte argílico.
2. No presenta moteado con chromas de 2 ó menos dentro de los 25 cm superiores del horizonte argílico.
3. Nunca están secos entre los 18 y 50 cm en más de 7 ó en exceso en 10 años en más de 60 días consecutivos.

La definición de la familia como Clayey, mixed, isohyperthermic se debe a las siguientes características:

1. Por el contenido superior al 60% de la fracción arcilla.
2. Se supone que la clase de coloides minerales en la fracción arcilla es mezclado.
3. Se considera que la temperatura media anual del suelo es más de 22ºC y que la diferencia entre la media de verano e invierno es menos de 5ºC.

4.2 Perfil 2 (CR-47) 41 - 41

4.2.1 Información del sitio

Nombre del suelo	:	Latosol (62)
Localidad	:	A 20 Km Noreste de Turrialba, sobre la carretera Turrialba-Siquirres, aproximadamente a 50 ms antes de llegar a la división territorial entre las provincias de Cartago y Limón; provincia de Cartago. Aproximadamente a 9°58' N. 83°35'O.
Elevación	:	530 m.s.n.m.
Fecha de observación	:	13 de octubre 1968
Autor	:	M. Macías V.
Forma de la tierra	:	Fuertemente ondulada
Fisiografía del sitio	:	Pendiente convexa
Forma del campo en los alrededores	:	Fuertemente ondulado a quebrado
Pendiente	:	15%, fuertemente ondulado a suavemente quebrado
Vegetación	:	Pastizal natural. Desmontado hace más o menos 20 años. Bosque tropical muy húmedo transición a premontano; piso basal (62, 136).
Clima	:	Tropical húmedo (62, 136). Precipitación pluvial 4.266 mm; temperatura media anual 25°C (27).

Material parental	:	Origen volcánico, lahar o material no diferenciado (91).
Drenaje	:	Bien drenado
Condiciones de humedad en el suelo	:	Moderadamente húmedo
Profundidad a la tabla de agua	:	Muy profundo
Presencia de piedras en la superficie	:	Diseminados en los alrededores a distancias de 25 m.
Evidencia de erosión	:	Erosión no aparente
Influencia humana	:	Desmonte y quema de troncos. Quema anual de pastos.

4.2.2 Descripción general del perfil

Suelo profundo, lixiviado, rojo, bien drenado, con piedras en la superficie. En el horizonte superior se observa moteado aparente, posiblemente originado por la materia orgánica reducida debido al exceso de lluvia.

4.2.3 Descripción individual de los horizontes

All 0-18 cm. Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo y pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en seco; arcilloso; con apariencia a moteado alrededor de las raíces; estructura granular, grueso, moderado; ligeramente adherente, ligeramente plástica; friable en húmedo, muy duro en seco; revestimientos delgados, continuos, raíces muy finas, abundantes; límite claro, ondulado.

A12 18-40 cm. Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo y pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado; ligeramente adherente, ligeramente plástica, friable en húmedo, muy duro en seco; sin revestimientos; raíces muy finas, pocas; límite gradual, ondulado.

A3 40-64 cm. Pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo y pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado; ligeramente adherente, ligeramente plástica, friable en húmedo, muy duro en seco; sin revestimientos; raíces muy finas y pocas; límite claro, ondulado.

B2 64-110 cm. Pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo y pardo (7,5YR 5/4) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado; adherente, plástica, friable en húmedo, muy duro en seco; sin revestimientos; piedras en muy pequeña cantidad, de 5 a 20 cm de diámetro; no hay raíces; límite claro, ondulado.

B3 110-130+cm. Pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo y pardo amarillento claro (10YR 6/4) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado; ligeramente adherente, ligeramente plástica, muy friable en húmedo, duro en seco; sin revestimientos; sin raíces; piedras en muy pequeña cantidad, de 5 a 20 cm de diámetro.

CUADRO 4.- Características físicas del perfil 2 (CR-47)

Horizonte	Profundidad cm	Distribución de partículas: Arena muy gruesa y arena gruesa (%)	Arena Media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural
A11	0 - 18	0,47	0,86	15,39	0,28	19,0	64,0	Arcilloso
A12	18 - 40	0,42	0,60	9,43	0,05	12,5	77,0	Arcilloso
A3	40 - 64	0,86	0,89	11,37	0,68	16,7	69,5	Arcilloso
B2	64 -110	0,32	0,58	7,98	0,12	14,8	76,2	Arcilloso
B3	110 -130+	1,46	2,33	17,99	0,22	20,5	57,5	Arcilloso

Horizonte	Arcilla dispersada en agua (%)	Densidad aparente (rango) (g/cc)	Densidad partícu-las (g/cc)	Porosidad (%)	Retención de humedad: Saturado (%)	0,1 Bar (%)	1/3 Bar (%)	1 Bar (%)	5 Bares (%)	10 Bares (%)	15 Bares (%)
A11	8,6	0,86-0,88	2,58	66,1	103,4	51,4	51,0	41,5	36,6	33,2	32,4
A12	13,6	0,86-0,91	2,59	65,7	81,8	45,5	45,0	38,2	35,3	32,6	30,7
A3	0,15	0,91-0,93	2,62	64,7	81,9	45,9	44,7	38,9	35,2	32,5	31,6
B2	0,27	0,91-0,94	2,65	65,0	76,9	50,5	49,6	40,7	38,6	33,9	33,5
B3	0,05	1,07-1,13	2,65	58,7	81,2	53,1	52,3	42,9	38,4	33,4	33,2

CUADRO 5.- Características químicas y análisis elemental del perfil 2 (CR-47)

Horizonte	pH		Materia orgánica (%)	Carbón orgánico (%)	Nitrógeno total (%)	C/N	Fósforo soluble (ppm)	Oxidos de hierro libre (%Fe2O3)
	H2O	CaCl2 0,01 M						
A11	5,3	4,7	10,8	6,3	0,59	10,5	0,025	6,33
A12	5,4	4,3	3,7	2,2	0,25	8,8	0,02	5,78
A3	5,5	4,2	2,8	1,7	0,20	8,5	Trazas	6,73
B2	5,5	4,3	1,3	0,8	0,12	5,9	0,01	6,43
B3	5,4	4,2	0,8	0,5	0,06	7,5	0,01	6,21

Horizonte	Elementos totales ****						Relaciones moleculares ****		
	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	K2O (%)	CaO (%)	MgO (%)	SiO2/Al2O3	SiO2/R2O3	Al2O3/Fe2O3
A11	37,7	22,8	13,9	1,81	0,11	0,29	2,81	2,03	2,5
A12	40,6	25,0	13,7	1,44	0,04	0,25	2,76	2,04	2,8
A3	40,3	26,6	13,1	1,80	0,04	0,24	2,57	1,96	3,2
B2	39,1	29,2	14,5	1,14	0,02	0,26	2,27	1,73	3,1
B3	38,5	28,6	14,0	0,62	0,02	0,28	2,28	1,73	3,2

**** Determinado en el suelo.

CUADRO 6.- Complejo de cambio del perfil 2 (CR-47)

Horizonte	Meq. determinados/100 gr. de suelo					Meq. determinados/100 gr. de suelo						Meq. determinados/100 gr. de	
	CIC*	Bases cambiables			S.B.* (%)	CIC**	Bases cambiables			Aluminio extraíble	S.B.** (%)	Arcilla CIC *	Limo CIC *
		Ca*	Mg*	K*			Ca**	Mg**	K**				
A11	39,0	4,9	3,5	0,8	23,6	36,7	4,1	3,1	0,9	11,6	22,0	43,3	18,9
A12	34,6	1,6	0,7	0,5	8,0	32,3	0,4	0,7	0,5	22,7	4,8	44,8	19,7
A3	34,4	1,0	0,3	0,3	4,7	31,5	0,3	0,3	0,4	20,7	3,1	44,9	15,8
B2	39,9	0,7	0,2	0,1	2,5	31,7	0,1	0,2	0,1	20,9	1,2	43,1	19,6
B3	38,2	0,4	0,3	0,1	2,0	31,5	0,1	0,3	0,1	20,0	1,5	40,7	24,9

Horizonte	CIC arcilla *** (calculada) Meq./100 gr.	Relación entre bases							
		Ca/Mg*	Ca/K*	Mg/K*	Ca+Mg/K*	Ca/Mg**	Ca/K**	Mg/K**	Ca+Mg/K**
A11	60,9	1,4	6,1	4,3	10,5	1,3	4,5	3,4	8,0
A12	44,9	2,3	3,2	1,4	4,6	0,6	0,8	1,4	2,2
A3	49,6	3,3	3,3	1,0	4,3	1,0	0,7	0,8	1,5
B2	52,3	3,5	7,0	2,0	9,0	0,5	1,0	2,0	3,0
B3	64,7	1,1	4,0	3,0	7,0	0,3	1,0	3,0	4,0

* Determinado con acetato de amonio pH 7
** Determinado con acetato de amonio pH 4,8
*** $\frac{\text{CIC * del suelo x 100}}{\text{\% arcilla}}$
S.B. Saturación de bases

4.2.4 Discusión

El conjunto de las características morfológicas evidencian el buen desarrollo de estos suelos.

Los valores bajos de densidad aparente y de partículas están relacionadas con el material volcánico del cual se derivan estos suelos. Los incrementos con la profundidad se deben a la disminución de la materia orgánica y el aumento de los óxidos de hierro.

La densidad aparente baja, y el contenido de arcilla, hacen que estos suelos tengan alta porosidad y una mediana retención gravimétrica de humedad y agua disponible para las plantas.

En este perfil no es evidente la iluviación de la arcilla, ya que los "peds" carecen de revestimientos.

La reacción ácida está relacionada al porcentaje bajo de saturación de bases y al contenido alto de aluminio extraible. La concentración alta de aluminio extraible es una característica sobresaliente en este perfil, parece que esta condición está relacionada con la precipitación pluvial muy alta que predomina en el área, al respecto Plucknett y Sherman (104) consideran que las altas concentraciones de aluminio extraible son debidas a las condiciones muy húmedas del suelo, factor que facilita la solubilización de varias formas de aluminio.

El contenido de materia orgánica, nitrógeno total en los horizontes A son generalmente altos; la relación C/N tiende a ser baja con la profundidad, lo cual demuestra la demanda de carbón y la concentración de nitrógeno, posiblemente por fijación.

La CIC del suelo, muestra las cargas permanentes alrededor de 31 me/100 de suelo y las dependientes del pH llegan a 8 me/100 gr de suelo. Comparativamente la CIC de la fracción arcilla es ligeramente superior a la del suelo.

El contenido de bases cambiables se encuentra en niveles muy bajos, excepto el potasio muestra nivel adecuado. Las relaciones entre bases muestran desbalances muy notorios.

Los óxidos de silicio, aluminio y hierro son relativamente altas, y los óxidos de calcio, magnesio y potasio tienden a ser bajos y con las relaciones moleculares de SiO_2/Al_2O_3, SiO_2/R_2O_3 y Al_2O_3/Fe_2O_3, se aproximan a las características de suelos con meteorización relativamente avanzada.

4.2.5 Clasificación del perfil CR-47 y discusión de sus categorías

El perfil CR-47 y los suelos de áreas adyacentes, de acuerdo con sus características morfológicas, físicas, químicas, factores de sitio y material parental podrían clasificarse en las siguientes categorías de la Séptima Aproximación (140, 141).

Orden : Inceptisoles

Sub-orden : Tropepts

Gran Grupo: Dystropepts

Sub-grupo : Typic Dystropepts

Familia : Very fine, mixed, isohyperthermic.

A continuación se discuten los criterios que sirven para clasificarlos en las categorías antes mencionadas:

Criterio para el Orden

Se identificó como horizonte cámbico el horizonte B (B2 y B3) de este perfil, por reunir las siguientes características que lo definen como tal:

1. En el perfil no hay iluviación clara de arcilla, además no presenta revestimientos de arcilla en los "peds".
2. La textura es fina en la fracción menor de 2 mm
3. La relación óxidos de hierro libre/porcentaje de arcilla es casi constante en los subhorizontes del horizonte cámbico.
4. La retención de agua a 15 bares de tensión es superior a 20%.
5. El espesor del horizonte cámbico es superior a los 25 cm.
6. Se supone por el alto contenido (14,8 a 20,5%) de la fracción limo y el contenido de K2O (1,1 a 0,6) la existencia de minerales meteorizables.
7. Por las condiciones de sitio, este horizonte cámbico se ha debido formar fuera de la influencia de la capa de agua fluctuante.
8. Tiene Colores pardos, el "chroma" comunmente es más fuerte y el "hue" rojo.

Con la definición de la existencia del horizonte cámbico este perfil ha sido clasificado como Inceptisol.

Las características que presenta este perfil son consideradas

apropiadas para definir el orden Inceptisol, de acuerdo a lo siguiente:

1. La sección entre los 18 y 50 cm de profundidad está generalmente húmeda, además tiene un epipedón úmbrico con una densidad aparente ligeramente superior a 0,85 gr/cc.
2. El horizonte cámbico con saturación de bases menos del 50% (determinado en NH_4OAc) desde el principio o decrece a menos de 50% a una profundidad de 1,8 m debajo de la superficie.

La discusión de las siguientes características permite ubicar los a estos suelos en Sub-orden Tropepts:

1. Se asume que estos suelos de este perfil tienen una temperatura media anual mayor de 8ºC en el suelo, y la diferencia entre la temperatura del suelo entre la media de verano e invierno es menos de 5ºC a la profundidad de 50 cm.

Para considerar este perfil dentro del Gran grupo Dystropepts, se tienen las siguientes características:

1. Tiene menos de 50% de saturación de bases (determinado en NH_4OAc) en el epipedón y en el horizonte cámbico.
2. Se supone que tiene la temperatura media anual en el suelo más de 22ºC.

Las siguientes características conducen a clasificar a este perfil en el Sub-grupo Typic Dystropepts:

1. La capacidad de intercambio de cationes es más de 24 me/100 gr de arcilla en todos los horizontes.

2. Tiene horizonte cámbico.
3. El contenido de materia orgánica decrece regularmente con la profundidad.
4. No tiene ningún contacto lítico entre los 50 cm de la superficie.
5. No tiene moteado con "chroma" de 2 ó menos hasta a un metro de la superficie.

Para definir la familia se tienen las siguientes características, que corresponden a very fine, mixed, isohyperthermic:

1. Contenido de la fracción arcilla de más de 60%.
2. Se supone la composición coloidal como una mezcla de arcillas.
3. Se considera que la temperatura media anual del suelo es más de 22ºC y la diferencia entre la media de verano y la de invierno en el suelo es menos de 5ºC.

4.3 Perfil 3 (COLORADO)

4.3.1 Información del sitio

Nombre del suelo	:	Suelo laterítico (39), latosol senil (54, 55, 56)
Localidad	:	A 2 Km al oeste de la ciudad de Turrialba, sobre la carretera Turrialba - Juan Viñas; provincia de Cartago. Aproximadamente 9º54'N. 83º43' O.
Elevación	:	780 m.s.n.m.

Fecha de observación	:	Julio 1968
Autor	:	M. Macías
Forma de la tierra	:	Fuertemente ondulada
Fisiografía del sitio	:	Pendiente convexa
Forma del campo en los alrededores	:	Fuertemente ondulada
Pendiente	:	20% fuertemente ondulada a suavemente quebrada
Vegetación	:	Pastizal natural (Paspalum sp.) Bosque tropical muy húmedo, piso basal (62, 136)
Clima	:	Tropical húmedo (62, 136), precipitación pluvial 2.436 mm anuales y temperatura media anual 22,2°C (27).
Material parental	:	Origen volcánico, lava vieja (39)
Drenaje	:	Bien drenado
Condiciones de humedad en en suelo	:	Moderadamente húmedo
Profundidad a la tabla de agua	:	Muy profunda
Evidencia de erosión	:	Erosión no aparente

4.3.2 Descripción general del perfil

Suelo profundo, bien drenado, lixiviado, rojo, sin moteado, sin capas endurecidas. Con piedras en muy pequeña cantidad a 60 cm de profundidad.

4.3.3 Descripción individual de los horizontes

A11 0-25 cm. Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo y pardo oscuro (7,5YR 3/2) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado; ligeramente adherente, plástica, friable en húmedo, ligeramente duro en seco; revestimientos delgados en parches; raíces finas, abundantes; límite claro, plano.

A12 25-35 cm. Pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo y en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, débil, ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo, ligeramente duro en seco; revestimientos delgados, quebrados; raíces muy finas, abundantes; límite claro, plano.

A3 35-80 cm. Pardo oscuro (7,5YR 3/2) en húmedo y pardo rojizo oscuro (5YR 3/3) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano y moderado; ligeramente adherente, ligeramente plástica, muy friable en húmedo, ligeramente duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces muy finas, abundantes; límite gradual, plano.

B21 80-125 cm. Pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/2) en húmedo y pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado; ligeramente adherente, plástico, friable en húmedo, ligeramente duro en seco; revestimientos delgados, continuos, raí

ces muy finas, abundantes; límite claro, plano.

B 22 125-175 cm. Pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo y pardo (7,5YR 5/4) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, fino, débil; ligeramente adhesivo, plástico, muy friable en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces muy finas, pocas; límite gradual, plano.

B3 175-190 cm. Pardo rojizo oscuro (5YR 3/3) en húmedo y pardo amarillento (10YR 5/6) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado; adhesivo, plástico, friable en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces muy finas, muy pocas.

4.3.4 Discusión

Este perfil muestra características morfológicas de suelos con horizontes bien desarrollados y de buen espesor.

El color de los horizontes A está relacionado con el alto contenido de materia orgánica y los B con los óxidos de hierro.

La estructura está influenciada por la cantidad de arcilla y los óxidos de hierro que actúan como cementante de los agregados. En la consistencia también interviene la arcilla y los óxidos de hierro.

No hay una evidencia clara de la iluviación de arcilla, aunque los "peds" presentan revestimientos delgados y quebrados o en parches.

CUADRO 7.- Características físicas del perfil 3 (Colorado)

Horizonte	Profundidad cm	Distribución de partículas: Arena muy gruesa y arena gruesa (%)	Arena media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural
A11	0 - 25	0,14	0,60	10,19	5,07	10,0	74,0	Arcilloso
A12	25 - 35	0,30	0,60	7,00	0,60	11,5	80,0	Arcilloso
A3	35 - 80	0,20	0,65	7,85	0,30	15,0	76,0	Arcilloso
B21	80 -125	0,25	0,55	6,60	0,10	9,0	83,5	Arcilloso
B22	125 -175	0,12	0,26	3,46	0,16	8,5	87,5	Arcilloso
B3	175 -190+	0,74	1,41	15,59	0,06	8,0	74,2	Arcilloso

Horizonte	Arcilla dispersada en agua (%)	Densidad aparente (rango) (gr/cc)	Densidad partículas (gr/cc)	Porosidad (%)	Retención de humedad: Saturado (%)	0,1 Bar (%)	1/3 Bar (%)	1 Bar (%)	5 Bares (%)	10 Bares (%)	15 Bares (%)
A11	13,86	0,84-0,87	2,52	66,0	101,3	45,5	42,9	42,0	35,1	32,5	32,2
A12	0,62	0,85-0,90	2,65	67,0	95,0	45,4	41,7	39,6	36,3	31,8	30,5
A3	0,7	0,84-0,93	2,69	67,5	88,7	45,3	43,6	40,3	35,6	32,6	30,5
B21	0,7	0,80-0,88	2,70	68,6	88,0	48,4	44,5	42,2	37,6	34,5	34,4
B22	0,01	0,76-0,80	2,71	71,2	98,3	50,2	49,3	45,1	39,7	37,4	37,3
B3	0,00	0,85-0,91	2,72	67,1	86,2	51,1	46,2	44,1	38,6	36,3	36,1

CUADRO 8.- Características químicas y análisis elemental del perfil 3 (Colorado)

Horizonte	pH		Materia orgánica	Carbón orgánico	Nitrógeno total	C/N	Fósforo soluble	Oxidos de hierro libre
	H2O	Cl2Ca 0,01 M	(%)	(%)	(%)		(ppm)	(% Fe2O3)
A11	5,0	4,5	8,0	4,7	0,46	10,1	0,01	8,2
A12	5,5	4,9	3,7	2,1	0,20	10,0	0,02	8,0
A3	5,5	5,2	2,7	1,5	0,16	9,6	Trazas	8,6
B21	5,9	5,4	1,8	1,0	0,11	9,3	"	8,7
B22	5,9	5,4	1,0	0,6	0,06	9,2	"	9,5
B3	5,7	5,1	0,7	0,4	0,04	10,0	0,01	10,1

Horizonte	Elementos totales ****						Relaciones moleculares ****		
	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	K2O (%)	CaO (%)	MgO (%)	SiO2/Al2O3	SiO2/R2O3	Al2O3/Fe2O3
A11	35,1	28,7	12,5	1,3	0,07	0,09	2,1	1,6	3,6
A12	32,3	28,2	13,7	1,5	0,05	0,09	1,9	1,5	3,2
A3	32,3	30,2	13,7	1,1	0,05	0,12	1,8	1,4	3,4
B21	32,1	31,3	13,0	0,9	0,04	0,13	1,7	1,4	3,7
B22	32,3	30,4	14,2	1,9	0,04	0,08	1,8	1,4	3,3
B3	28,5	32,6	15,9	1,2	0,03	0,09	1,5	1,1	3,2

**** Determinado en el suelo.

CUADRO 9.- Complejo de cambio del perfil 3 (Colorado)

Horizonte	Meq./determinados/100 gr. de suelo					Meq. determinados/100 gr. de suelo						Meq.determin. 100 gr. de	
	CIC*	Bases cambiables			S.B.* (%)	CIC**	Bases cambiables			Aluminio extraíble**	S.B.** (%)	Arcilla	Limo
		Ca*	Mg*	K*			Ca**	Mg**	K**			CIC**	CIC*
A11	31,4	2,5	0,7	0,1	10,4	28,7	1,6	0,7	0,2	8,8	8,7	19,4	12,0
A12	26,0	2,7	0,4	0,1	12,6	24,2	2,4	0,4	0,8	8,9	15,2	13,5	9,1
A3	24,4	3,0	0,3	0,04	13,6	25,2	2,4	0,2	0,1	8,0	10,7	12,8	14,3
B21	26,7	2,9	0,3	0,04	12,1	27,0	2,4	0,3	0,1	7,0	10,3	26,7	12,1
B22	29,1	3,9	0,5	0,04	15,2	30,4	3,3	0,5	0,1	5,3	12,8	34,3	7,6
B3	27,1	1,6	0,6	0,02	8,2	30,9	1,1	0,6	0,1	4,3	5,8	20,6	9,8

Horizonte	CIC arcilla*** (calculada) Meq./100 gr.	Relación entre bases							
		Ca/Mg*	Ca/K*	Mg/K*	Ca+Mg/K*	Ca/Mg**	Ca/K**	Mg/K**	Ca+Mg/K***
A11	42,4	3,6	25,0	7,0	32,0	2,3	8,0	3,5	11,5
A12	32,5	6,8	27,0	4,2	31,0	6,0	3,0	0,5	3,5
A3	32,1	9,9	75,0	7,5	82,5	12,0	24,0	2,0	26,0
B21	31,8	9,6	71,5	7,5	80,0	8,0	24,0	3,0	27,0
B22	33,2	7,8	97,5	12,5	110,0	6,6	33,0	5,0	38,0
B3	36,5	2,7	80,0	30,0	110,0	1,8	11,0	6,0	17,0

* Determinado con acetato de amonio pH 7.0
** " " " " " pH 4.8
*** $\frac{\text{CIC* del suelo x 100}}{\text{\% arcilla}}$
S.B. Saturación de bases

El material parental de origen volcánico, imparte a estos suelos la densidad aparente más baja que 0,93 gr/cc. Los valores bajos registrados para los horizontes A se deben por otra parte a la materia orgánica.

El porcentaje gravimétrico de retención de humedad muestra tendencias a ser altas, pero el porciento volumétrico y la disponibilidad de agua es considerada como mediana, estos valores coinciden con los que encontró Gavande (50) al estudiar esta característica en estos suelos.

La materia orgánica y el nitrógeno total es siempre alta en los horizontes A y disminuye gradualmente en los B. La relación C/N en general es alrededor de 10.

En la CIC del suelo, las cargas permanentes constituyen casi el total, aparentemente no hay contribución a la CIC total de las cargas dependientes del pH.

La CIC de la arcilla, comparada con la del suelo es reducida a casi la mitad en los horizontes A, esto puede deberse a la falta de contribución de la materia orgánica, en cambio en los B se mantienen casi simejantes a la del suelo.

La acidez de estos suelos es efecto de la baja saturación de bases y el porcentaje alto de aluminio extraible.

La relación entre bases en casi todos los horizontes muestran valores inferiores a los valores considerados por Hardy (54, 55,56), adecuados para estos suelos.

El porcentaje de óxidos de elementos totales es alto para el Si, Al, Fe y bajo para Ca, K, Mg. Las relaciones moleculares de SiO_2/Al_2O_3, SiO_2/R_2O_3 y Al_2O_3/Fe_2O_3 aproximan a estos suelos a los que tienen alto grado de meteorización.

4.3.5 Clasificación del perfil Colorado y discusión de sus categorías

El perfil de serie Colorado, de acuerdo con sus propiedades morfológicas, físicas, químicas y características asociadas al sitio y su material parental, es clasificado en las siguientes categorías de la Séptima Aproximación (140, 141).

Orden	:	Inceptisol
Sub-orden	:	Tropepts
Gran Grupo	:	Dystropepts
Sub-grupo	:	Typic Dystropepts
Familia	:	Very fine, mixed, isohyperthermic

Los criterios para la clasificación en las categorías antes mencionadas son discutidas a continuación:

Criterio para el Orden

Se identificó el horizonte diagnóstico y se definió como cámbico a los horizontes B; aunque aparentemente hay un ligero aumento de la fracción arcilla al paso del horizonte A a B, pero no llega a lo requerido para constituírse en argílico.

Las siguientes características definen en este perfil el horizonte cámbico:

1. Entre los horizontes A y B no existe una evidencia de ilu - viación del material arcilloso. El aumento de la fracción arcilla se opera en una distancia superior a los 30 cm distancia límite para considerar como horizonte argílico.
2. La textura es más fina que el franco arenoso muy fino en la fracción menor de 2 mm.
3. La relación de óxidos de hierro libres/% de arcilla se mantiene casi uniforme en los subhorizontes de B.
4. La retención de agua a 15 bares de tensión es superior a 20%.
5. El espesor del grupo de subhorizontes considerado como horizonte cámbico es superior a 25 cm.
6. Se supone que el 8% de la fracción limo y los resultados obtenidos para K20 total dan la posibilidad de minerales meteorizables, Hardy (55) indica la existencia del hornblenda en pequeñas cantidades en esta serie de suelos.

Con la evidencia del horizonte cámbico, a este perfil se le puede clasificar dentro del Orden Inceptisol.

Las siguientes características definen como Inceptisol a este perfil:

1. Usualmente están húmedos entre los 18 a 50 cm.
2. Horizonte cámbico con saturación de bases menores al 50% a la profundidad de 1,8 m debajo de la superficie.

Con las siguientes características se definen estos suelos como del Sub-orden Tropepts:

1. Se sobreentiende que los suelos de este perfil tienen una temperatura media anual de más de 8ºC y que la diferencia entre la temperatura del suelo de la media de verano e invierno es de 5ºC a la profundidad de 50 cm.
2. Tiene epipedon úmbrico, porque se considera que hay predominancia de bases de saturación en menos de 50%.

Las siguientes características definen para considerar este perfil dentro el Gran grupo Dystropepts:

1. La saturación de bases es menor de 50% (determinada en acetato de amonio) en el epipedon y en el horizonte cámbico.
2. Se asume que la temperatura media anual del suelo es de 22ºC ó más.

Con las características que a continuación se describen es posible clasificar este perfil dentro el sub-grupo Typic Dystropepts:

1. La capacidad de cambio de cationes es más de 24 me/100 gr de arcilla (CIC determinada en NH4)Ac) en todos los horizontes.
2. Tiene el horizonte cámbico como diagnóstico.
3. La materia orgánica decrece regularmente con la profundidad.
4. Carece de moteado con chromas de 2 ó menos entre el 1 m de la superficie.
5. No tiene ningún contacto lítico entre los 50 cm de la superficie.

Las características que se mencionan enseguida definen la familia. Very fine, mixed, isohyperthermic.

1. El contenido de la fracción arcilla es superior al 60%.
2. Se asume que la composición coloidal en estos suelos constituye una mezcla de tipos de arcilla. Según Hardy (55) existen en estos suelos cantidades muy pequeñas de caolinita cristalizada y cantidades medias de gibsita. Dondoli y Torres (39) mencionan la existencia de 0,1 a 0,5% de caolinita en estos suelos.
3. Se asume que la temperatura media anual del suelo es más de 22ºC y la diferencia entre la media de verano y la media de invierno es menos de 5ºC.

4.4 Perfil 4 (CR-32) Serie Paraíso

4.4.1 Información del sitio

Nombre del suelo	:	Suelo laterítico (39) y latosol (57, 62, 73).
Localidad	:	A 2 Km antes de llegar al pueblo de Birrisito, en la carretera Cervantes-Paraíso. Provincia de Cartago. 9º51' N. 83º51' O.
Elevación	:	1.300 m.s.n.m.
Fecha de observación	:	Agosto 1968
Autor	:	M. Macías
Forma de la tierra	:	Ondulada, colinas adyacentes muy suaves
Fisiografía del sitio	:	Colinas con ondulaciones suaves
Forma del campo en los alrededores	:	Ondulada, tendiendo a fuertemente ondulada
Pendiente	:	12% Pendiente ligera
Vegetación	:	Pastizal, pasto cultivado. Anteriormente cultivado con caña por un período de 7 años.

Bosque tropical muy húmedo, piso basal (62, 136).

Clima : Tropical húmedo (62, 136). Precipitación pluvial anual 2.033 mm, temperatura media anual 21.8°C. (27).

Material parental : Origen volcánico, lava vieja (39)

Drenaje : Bien drenado

Condiciones de humedad en el suelo : Moderadamente húmedo

Profundidad a la tabla de agua : Muy profundo

Evidencia de erosión : Erosión actual no aparente

Influencia humana : Quema anual de pastizales

4.4.2 Descripción general del perfil

Suelo rojo, profundo, lixiviado, bien drenado, con concreciones en los horizontes inferiores. Sin moteado. Sin piedras.

4.4.3 Descripción individual de los horizontes

A1 0-25 cm. Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco; arcilloso; estructura granular gruesa, moderado; adherente, plástico, firme en húmedo, muy duro en seco; sin revestimientos; raíces finas y frecuentes; límite claro, ondulado.

A3 25-45 cm. Pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo y pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, grueso, moderado; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, quebrados; raíces finas, comunes; concreciones negras en 1%; límite gradual, ondulado.

B21 45-95 cm. Pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo y pardo rojizo (5YR 4/4) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, grueso, moderado; adherente, plástico, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces finas, pocas; concreciones negras 10% manchas pardo amarillentas; límite gradual, ondulado.

B22 95-150 cm. Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo, pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, grueso, moderado; adherente, plástico, firme en húmedo, muy duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces muy finas, muy pocas; límite gradual, ondulado.

B3 95-180 cm. Pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo y pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, grueso, moderado; adherente, plástico, friable en húmedo, muy duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces muy finas, muy pocas.

CUADRO 10.- Características físicas del perfil 4 (CR-32)

Horizonte	Profundidad cm	Distribución de partículas: Arena muy gruesa y arena gruesa (%)	Arena media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural
A1	0 - 25	0,17	0,46	7,02	0,15	14,7	77,5	Arcilloso
A3	25 - 45	0,12	0,17	1,70	0,01	21,0	77,0	Arcilloso
B21	45 - 95	0,14	0,33	4,00	0,03	23,3	72,2	Arcilloso
B22	95 -150	0,04	0,05	0,90	0,01	17,0	82,0	Arcilloso
B3	150 -180+	0,01	0,05	0,85	0,09	7,0	92,0	Arcilloso

Horizonte	Arcilla dispersada en agua (%)	Densidad aparente (rango) (gr/cc)	Densidad partículas (gr/cc)	Porosidad (%)	Retención de humedad: Saturado (%)	0,1 Bar (%)	1/3 Bar (%)	1 Bar (%)	5 Bares (%)	10 Bares (%)	15 Bares (%)
A1	20,6	0,92-1,00	2,42	59,6	94,7	47,1	42,1	38,7	31,6	29,4	28,7
A3	1,2	0,77-0,95	2,60	66,0	97,3	50,8	45,4	42,4	37,2	35,1	34,5
B21	0,07	0,88-0,92	2,65	65,9	98,5	52,2	46,5	45,6	39,5	38,4	32,4
B22	0,05	0,90-0,92	2,67	65,9	103,6	49,0	44,7	44,6	38,8	38,4	37,5
B3	0,03	0,90-0,94	2,67	65,4	105,2	48,8	44,6	43,9	38,7	38,1	34,0

CUADRO 11.- Características químicas y análisis elemental del perfil 4 (CR-32)

Horizonte	pH		Materia orgánica (%)	Carbón orgánico (%)	Nitrógeno total (%)	C/N	Fósforo soluble (ppm)	Oxidos de hierro libres (% Fe203)
	H20	Cl2Ca 0.01 M						
A1	5,2	4,5	8,9	5,2	0,35	14,7	0,02	7,7
A3	5,3	4,8	2,9	1,7	0,14	12,1	Trazas	9,4
B21	5,5	5,0	1,6	0,9	0,10	9,2	"	9,9
B22	5,6	5,1	0,7	0,4	0,05	7,8	"	9,7
B3	5,8	5,1	0,5	0,3	0,04	7,1	"	9,7

Horizonte	Elementos totales ****						Relaciones moleculares ****		
	Si02 (%)	A1203 (%)	Fe203 (%)	K20 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Si02/A1203	Si02/R203	A1203/Fe203
A1	34,2	37,1	11,5	2,9	0,007	0,14	1,6	1,3	5,0
A3	35,5	28,4	11,7	2,5	0,03	0,07	2,1	1,7	3,8
B21	35,9	32,3	12,1	2,4	0,03	0,06	1,9	1,5	4,2
B22	36,3	31,2	12,7	1,3	0,03	0,07	2,0	1,6	3,8
B3	35,9	32,8	12,7	1,5	0,03	0,07	1,9	1,5	4,0

**** Determinado en el suelo.

CUADRO 12.- Complejo de cambio del perfil 4 (CR-32)

Horizonte	Meq. determinados/100 gr. de suelo					Meq. determinados/100 gr. de suelo						Meq determinados/100 gr.	
	CIC*	Bases cambiables			S.B.* (%)	CIC**	Bases cambiables			Aluminio extraíble**	S.B.** (%)	Arcilla CIC*	Limo CIC*
		Ca*	Mg*	K*			Ca**	Mg**	K**				
A1	36,0	1,4	0,9	0,3	7,2	33,5	1,1	1,1	0,4	11,8	7,8	24,6	9,1
A3	30,8	2,1	0,8	0,2	10,0	31,9	1,5	0,9	0,2	7,2	8,1	31,9	12,1
B21	32,0	2,2	0,7	0,1	9,0	34,5	1,5	0,7	0,9	7,4	9,0	33,9	7,6
B22	29,4	2,3	0,7	0,1	10,4	34,2	1,8	0,7	0,04	6,0	7,4	34,4	7,6
B3	30,2	1,9	0,7	0,04	9,9	36,2	1,8	0,8	0,05	6,1	7,3	23,1	9,1

Horizonte	CIC arcilla *** (calculada) Meq./100 gr.	Relación entre bases							
		Ca/Mg*	Ca/K*	Mg/K*	Ca+Mg/K*	Ca/Mg**	Ca/K**	Mg/K**	Ca+Mg/K**
A1	46,4	1,6	4,6	3,0	7,6	1,0	2,7	2,8	5,5
A3	40,0	2,6	10,5	4,0	14,5	1,6	7,5	4,5	12,0
B21	44,2	3,5	22,0	7,0	29,0	2,1	1,6	0,8	2,4
B22	35,0	3,2	23,0	7,0	30,0	2,5	45,0	17,5	62,5
B3	32,0	2,7	65,0	17,5	64,3	2,2	36,0	16,0	52,0

* Determinado con acetato de amonio pH 7.0
** Determinado con acetato de amonio pH 4.8
*** $\frac{\text{CIC* del suelo x 100}}{\text{\% arcilla}}$
S.B. Saturación de bases

4.4.4 Discusión

El solum en estos suelos es muy profundo, los horizontes bien desarrollados; el espesor de los horizontes B es más de 135 cm.

El color de los horizontes A está relacionado con el alto contenido de materia orgánica y en los B con los óxidos de hierro.

La estructura y la consistencia en estos suelos tienen relación con el contenido de arcilla, óxidos de hierro, silicio y en parte con la materia orgánica.

Los revestimientos de tipo delgado y quebrado que se observan en los "peds" de los horizontes B, no muestran características definidas de iluviación de la arcilla.

Es manifiesta la influencia del material parental en la densidad aparente baja. Los valores de densidad de partículas en los horizontes A son inferiores a 2,65 como efecto de la contribución de la materia orgánica, y los valores ligeramente más altos están influenciados por los óxidos de hierro.

El porcentaje gravimétrico de retención de humedad tiende a ser alto, pero el porcentaje volumétrico y el agua disponible son medianos.

El porcentaje de arcilla dispersable en agua es muy bajo, lo cual es signo de la alta estabilidad estructural.

Si se toma en cuenta la relación limo/arcilla como índice de meteorización, se puede definir que por los valores bajos estos suelos son altamente meteorizados.

La materia orgánica y el nitrógeno total son altos en los horizontes A, y en los B bajos. La relación C/N en los A tiende a ser alta, y en los B son bajas, lo que demuestra demanda de carbón en los horizontes B.

En la CIC del suelo, las cargas permanentes llegan a valores superiores a 31 me/100 gr de suelo y las cargas dependientes del pH casi no se manifiestan.

La CIC de la fracción arcilla es casi semejante a la del suelo, excepto en el horizonte A1 donde es menor, a consecuencia de la destrucción de la materia orgánica.

El porcentaje de saturación de bases es muy bajo; las relaciones entre bases muestran desbalances.

Los óxidos totales de silicio, aluminio, hierro son relativamente altos y los de calcio, magnesio y potasio bajos. Por las relaciones moleculares de SiO_2/Al_2O_3), SiO_2/R_2O_3, Al_2O_3/Fe_2O_3, se puede juzgar que estos suelos se aproximan a los altamente meteorizados.

4.4.5 Clasificación del perfil CR-32 y discusión de sus categorías

El perfil de la serie Paraíso o CR-32, de acuerdo a sus propiedades morfológicas, físicas, químicas; de sus características de clima y de su material parental conducen a clasificarlo en las siguientes categorías (140, 141).

Orden : Inceptisol

Sub-orden : Tropepts

Gran grupo : Humitropepts

Sub-grupo : Typic Humitropepts

Familia : Very fine, mixed, isothermic

Las características de este perfil en los niveles de Orden y Suborden son similares a los suelos de la serie Colorado, difiere en las demás categorías, las cuales se discuten a continuación:

Criterio para el Gran grupo

Las siguientes características de este perfil permiten definir a estos suelos dentro el Gran grupo Humitropepts:

1. El porcentaje de saturación de bases es menor a 50% en el epipedon y en horizonte cámbico.
2. Se supone que tienen temperatura media anual del suelo menos de 22ºC.

Se define a este perfil dentro el Sub-grupo Typic Humitropepts por las siguientes características:

1. Tiene una capacidad de intercambio de cationes superior a 24 me/100 gr de arcilla en todos los horizontes.
2. No tienen contacto lítico entre los 50 cm de la superficie.
3. No tiene moteado con chromas de 2 ó menos entre 1 m de la superficie.

Las siguientes características contribuyen para clasificar este perfil dentro de la familia Very fine, mixed, isothermic.

1. El contenido de la fracción arcilla es superior a los 60%.

2. Los coloides que componen la fracción arcilla constituyen mezcla de caolinita y halloysita según López (80), Hardy (55) menciona la mezcla de caolinita y gibsita, Dondoli y Torres (39) menciona la existencia de caolinita en porcentajes de 0,05 a 1,23%.
3. Se supone que la diferencia de temperatura en el suelo entre la media de verano y la media de invierno es menos de 5ºC y la temperatura media anual del suelo entre 15º y 22ºC.

4.5 Perfil 5 (CR-46)

4.5.1 Información del sitio

Nombre del suelo	:	Latosol (38, 62)
Localidad	:	A 15 Km al sur de Buenos Aires (Valle de San Isidro del General) hacia Panamá, sobre la carretera Interamericana; provincia de Puntarenas. Aproximadamente 9º03' N. 83º17' O.
Elevación	:	400 m.s.n.m.
Fecha de observación	:	26 septiembre, 1968.
Autor	:	M. Macías
Forma de la tierra	:	Terrazas aluviales viejas
Fisiografía del sitio	:	Terrazas con ondulaciones suaves, tendiendo a fuertemente ondulada.
Forma del campo en los alrededores	:	Terrazas con ondulaciones fuertes
Pendiente	:	10% pendiente ligera
Vegetación	:	Sabana, pastizal natural. Bosque húmedo

(62, 136); especies asociadas; Byrsonima crasipholya, Curatella americana, Anacardium occidentale.

Clima	:	Tropical húmedo (62, 136) con períodos de 4 a 5 meses de precipitación baja. Precipitación pluvial de 2.684 mm anuales. Temperatura media anual de 24.2°C (27).
Material parental	:	Roca sedimentaria, terrazas aluviales del pleistoceno (38, 109),
Drenaje	:	Bien drenado
Condiciones de humedad en el suelo	:	Moderadamente húmedo
Profundidad a la tabla de agua	:	Muy profundo
Evidencia de erosión	:	Moderada a severa erosión por presentar canales en la superficie y áreas sin vegetación.
Influencia humana	:	Quema anual de pastos y un sobre pastoreo.

4.5.2 Descripción general del perfil

Suelo profundo, rojo, bien drenado, lixiviado, con moderada a severa erosión. Piedras en todo el perfil en cada horizonte ocupa un 3%. Con predominancia de un moteado común en los horizontes inferiores.

4.5.3 Descripción individual de horizontes

A1 0-10 cm. Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo y pardo oscuro (10YR 4/3) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, fino, moderado; ligeramente adherente, ligeramente plástico, firme en húmedo, duro en seco; sin revestimientos; raíces finas, frecuentes; pedregosidad grado 4, con 15% de piedras en la superficie; límite claro, plano.

A3 10-28 cm. Pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo y pardo (7,5YR 5/4) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado; ligeramente adherente, ligeramente plástico, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados en parches; raíces finas y comunes; límite claro, plano.

B1 28-50 cm. Pardo rojizo (5YR 4/4) en húmedo y rojo amarillento (5YR 5/6) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado; adherente, plástico, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces finas y pocas; límite claro, ondulado.

B21 50-75 cm. Rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo y amarillo rojizo (5YR 6/6) en seco, arcilloso; moteado pardo amarillento (10YR 5/6), común, fino, distinto, claro; estructura bloque subangular, mediano, moderado, adherente, plástico, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces muy finas, muy pocas; microestructura bloque subangular muy fina; límite gradual, ondulado.

B22 75-100 cm. Pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo y amarillo rojizo (5YR 7/6) en seco; arcilloso; moteado rojo amarillento (5YR 4/6), mucho, mediano, distinto, claro; estructura bloque subangular, mediano, moderado, adherente, plástico, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, quebrados; sin raíces; concreciones de hierro rojos y amarillos; límite difuso, ondulado.

B3 100-150 cm. Pardo amarillento (10YR 5/6) en húmedo y amarillo rojizo (7,5YR 7/6) en seco; arcilloso; moteado gris claro (10YR 6/1) común, grueso, distinto, claro; estructura bloque subangular, mediano, moderado; adherente, plástico, friable en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; sin raíces.

4.5.4 Discusión

Este es un perfil con solum muy profundo, con horizontes bien desarrollados.

El color pardo de los horizontes A tiene relación con el alto porcentaje de materia orgánica, y el rojo de los B con los óxidos de hierro libre. Según Papadakis (99) los "chromas" altos tienen relación con los porcentajes altos de ácidos fúlvicos, éste sería el caso que explica los "chromas" altos en los horizontes B.

La estructura y la consistencia tienen íntima relación con el contenido de arcilla y el porcentaje alto de óxidos de hierro.

CUADRO 13.- Características físicas del perfil 5 (CR-46)

Horizonte	Profundidad cm	Distribución de partículas						Clase textural
		Arena muy gruesa y arena gruesa (%)	Arena media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	
A1	0 - 10	2,60	3,15	14,76	0,49	8,8	70,2	Arcilloso
A3	10 - 28	0,71	1,16	6,17	0,46	10,5	81,0	Arcilloso
B1	28 - 50	1,80	1,40	4,80	0,50	13,5	78,0	Arcilloso
B21	50 - 75	1,53	1,55	5,80	0,12	18,5	72,5	Arcilloso
B22	75 -100	1,60	1,62	7,26	0,02	20,5	69,0	Arcilloso
B3	100 -150+	0,59	1,39	9,89	0,13	20,5	67,5	Arcilloso

Horizonte	Arcilla dispersada en agua (%)	Densidad aparente (rango) (gr/cc)	Densidad partículas (gr/cc)	Porosidad (%)	Retención de humedad						
					Saturado (%)	0,1 Bar (%)	1/3 Bar (%)	1 Bar (%)	5 Bares (%)	10 Bares (%)	15 Bares (%)
A1	19,7	0,94-1,01	2,54	61,1	97,7	46,4	43,7	38,2	31,7	28,4	28,2
A3	6,4	1,07-1,19	2,60	56,5	76,3	42,8	40,5	35,4	30,7	28,6	28,1
B1	0,09	1,10-1,12	2,65	57,9	78,6	45,6	43,0	36,2	32,6	30,3	30,1
B21	0,13	1,13-1,21	2,66	55,5	78,5	47,3	45,8	37,4	32,6	30,8	30,6
B22	0,12	1,18-1,23	2,70	55,0	79,4	49,5	43,9	38,2	33,3	29,3	29,3
B3	0,06	1,18-1,23	2,72	55,3	75,5	47,5	45,5	35,8	32,3	30,4	30,3

CUADRO 14.- Características químicas y análisis elemental del perfil 5 (CR-46)

Horizonte	pH		Materia orgánica (%)	Carbón orgánico (%)	Nitrógeno total (%)	C/N	Fósforo soluble (ppm)	Oxidos de hierro libres (% Fe2O3)
	H2O	Cl2Ca 0.01 M						
A1	4,9	4,2	9,1	5,3	0,30	17,7	0,05	7,9
A3	5,2	4,3	4,4	2,5	0,15	16,9	0,02	7,7
B1	5,5	4,3	2,1	1,2	0,08	15,0	Trazas	8,9
B21	5,6	4,4	1,4	0,8	0,06	13,7	"	9,1
B22	5,7	4,4	1,4	0,8	0,05	16,2	"	9,2
B3	5,8	4,4	0,6	0,3	0,04	7,5	"	10,0

Horizonte	Elementos totales ****						Relaciones moleculares ****		
	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	K2O (%)	CaO (%)	MgO (%)	SiO2/Al2O3	SiO2/R2O3	Al2O3/Fe2O3
A1	35,9	27,1	11,8	1,1	0,02	0,09	2,3	1,8	3,6
A3	37,4	28,5	12,1	1,0	0,01	0,08	2,2	1,8	3,7
B1	37,4	28,0	12,1	0,8	0,008	0,15	2,3	1,8	3,6
B21	37,4	28,1	12,2	1,6	0,005	0,07	2,3	1,8	3,6
B22	39,1	27,6	12,1	1,2	0,005	0,13	2,4	1,9	3,6
B3	36,2	27,7	12,1	1,4	0,005	0,09	2,2	1,7	3,6

**** Determinado en el suelo.

CUADRO 15.- Complejo de cambio del perfil 5 (CR-46)

Horizonte	Meq. determinados/100 gr. de suelo					Meq.determinados/100 gr. de suelo						Meq.determinados/100 gr. de	
	CIC*	Bases cambiables			S.B.* (%)	CIC**	Bases cambiables			Aluminio extraí-ble**	S.B.** (%)	Arcilla CIC*	Limo CIC*
		Ca*	Mg*	K*			Ca**	Mg**	K**				
A1	24,0	0,5	0,1	0,2	3,3	23,2	0,02	0,13	0,3	16,5	1,9	26,1	7,6
A3	19,8	0,2	0,02	0,1	1,6	21,8	0,01	0,03	0,1	16,0	0,6	32,0	7,6
B1	21,1	0,1	0,04	0,1	1,1	19,3	0,02	0,02	0,1	13,1	0,7	32,0	8,3
B21	21,4	0,1	0,04	0,1	0,9	18,9	0,02	0,02	0,03	13,0	0,3	34,6	11,3
B22	22,6	0,1	0,04	0,04	0,8	20,8	0,02	0,02	0,04	13,6	0,4	54,6	15,1
B3	23,8	0,1	0,04	0,03	0,7	24,1	0,02	0,02	0,03	12,9	0,2	52,7	11,3

Horizonte	CIC arcilla*** (calculada) Meq./100 gr.	Relación entre bases							
		Ca/Mg*	Ca/K*	Mg/K*	Ca+Mg/K*	Ca/Mg**	Ca/K**	Mg/K**	Ca+Mg/K**
A1	34,1	5,0	2,5	0,5	3,0	0,2	0,1	0,4	0,5
A3	24,4	10,0	2,0	0,2	2,2	0,3	0,1	0,3	0,4
B1	27,1	2,5	1,0	0,4	1,4	1,0	0,2	0,2	0,4
B21	29,5	2,5	1,1	0,4	1,4	1,0	0,7	0,7	1,3
B22	32,7	2,5	2,5	1,0	3,5	1,0	0,5	0,5	1,0
B3	35,2	2,5	3,3	1,3	4,6	1,0	0,7	0,7	1,3

* Determinado con acetato de amonio pH 7.0
** " " " " " pH 4.8
*** $\frac{\text{CIC* del suelo x 100}}{\text{\% arcilla}}$
S.B. Saturación de bases

En todo el perfil los "peds" llevan revestimientos de arcilla, lo cual evidencia el proceso de iluviación de arcilla, aunque el incremento de arcilla en los horizontes B no es muy claro.

La densidad aparente, y la de partículas muestran valores que pueden considerarse dentro el valor promedio asignado a suelos minerales.

El límite inferior de los horizontes B, el contenido alto de arcilla, la relación baja de limo/arcilla, el porcentaje bajo de arcilla dispersable en agua, el porcentaje alto de óxidos de hierro libre, definen a estos suelos como altamente meteorizados.

La alta lixiviación y la consecuente acumulación de aluminio extraible hacen que estos suelos tengan reacción ácida.

La materia orgánica y el nitrógeno total tienden a ser altos en los horizontes A, y bajos en los B. La relación C/N es alta en casi todos los horizontes, lo cual demuestra que no hay demanda de carbón.

La CIC del suelo se debe en casi su totalidad a las cargas permanentes. La CIC determinada en la fracción arcilla tiende a ser más alta que la del suelo, posiblemente debido al desbloqueo de las cargas negativas ocupadas por el hierro y el aluminio (49, 102) y en parte quizá a la ruptura de los cristales de la arcilla dando de esta manera lugar a mayor superficie de adsorción.

El porcentaje bajo de saturación de bases y las relaciones muy bajas entre bases, son evidencia de la alta lixiviación y consecuentemente un desbalance nutricional muy marcado.

Como se trata de suelos altamente meteorizados, lixiviados, la concentración de los óxidos totales de silicio, aluminio y hierro son altos y los de calcio, magnesio y potasio bajos. Las relaciones moleculares de SiO_2/Al_2O_3, SiO_2/R_2O_3 y Al_2O_3/Fe_2O_3 de estos suelos, aproximan a los suelos con alto grado de meteorización.

4.5.5 Clasificación del perfil CR-46 y discusión de sus categorías

El perfil CR-46 y los suelos que se encuentran adyacentes a este perfil, por sus características morfológicas, físicas, químicas, climatológicas y el material parental, son clasificados en las siguientes categorías (140, 141):

Orden : Ultisol

Sub-orden : Humults

Gran grupo : Palehumults

Sub-grupo : De acuerdo con los criterios, no ha sido posible ubicar en un sub-grupo específico; pero hay la alternativa para llamarlo Ustic Palehumults.

Familia : Clayey, mixed, isohyperthermic.

Los criterios para las categorías antes mencionadas son dadas a continuación:

Criterio para el Orden

Se supone que este perfil presenta como horizonte diagnóstico de profundidad el horizonte argílico, suposición basada en la existencia de revestimientos de arcilla en los "peds" de los subhorizontes de B. La influencia de la iluviación de arcilla en los subhorizontes

de B no es manifiesta claramente, aunque el incremento de A1 a A3 cumple los requisitos de un horizonte argílico o sea un aumento de más de 8% y en una distancia vertical de 18 cm, requisito que se cumple dentro de los 30 cm máximos exigidos para considerar como horizonte argílico.

Ante la evidencia del horizonte argílico y la saturación de bases baja , se clasificó este suelo en el Orden Ultisoles.

Además las siguientes características de este perfil definen a estos suelos como Ultisoles:

1. No tienen fragipan, y el porcentaje de saturación de bases es menos de 35% a los 1,25 m debajo del borde superior del horizonte considerado como argílico o 1,8 m debajo de la superficie.
2. No tiene plintita de fase continua entre los 30 cm de la superficie del suelo.
3. Se supone que la temperatura media anual del suelo en esta área es más alta que 8ºC y la diferencia de la temperatura del suelo entre las medias de verano e invierno es de 5ºC.

Las siguientes características sirven como criterio para ubicarlos a estos suelos dentro el Sub-orden Humults:

1. Tienen más de 1,5% de materia orgánica (0,87%) en los 15 cm superiores al horizonte argílico.
2. Tienen más de 20 kg de materia orgánica en una unidad de volumen de 1 metro cuadrado a un metro de profundidad.

3. Nunca están saturados con agua.

Para considerarlos estos suelos dentro del Gran grupo de los Palehumults, presentan las siguientes características:

1. Se supone que en el horizonte argílico tiene menos del 10% de minerales meteorizables, por el contenido casi bajo de la fracción limo que presentan estos suelos.
2. La fracción arcilla no decrece en un 20% de la cantidad máxima y en una distancia vertical máxima de 1,5 m desde la superficie.

Las características de estos suelos no dan evidencia para definir claramente el Sub-grupo; es posible ubicarlo en el Sub-grupo Ustic Palehumults como una alternativa.

Las siguientes características inducen a clasificar a estos suelos dentro de la familia Clayey, mixed, isohyperthermic:

1. El contenido de arcilla es superior a 60%
2. Se supone que el contenido coloidal es una mezcla
3. Se supone que la temperatura media anual del suelo es más de 22ºC.

4.6 Perfil 6 (CR-12)

4.6.1 Información del sitio

Nombre del suelo : Latosol (38, 62, 137)

Localidad : Buenos Aires, (área piñera), al sur de San Isidro del General, provincia Puntarenas. Aproximadamente 9º9' N. 83º20' O.

Elevación	:	500 m.s.n.m.
Fecha de observación	:	25 septiembre, 1968
Autor	:	M. Macías
Forma de la tierra	:	Llanura, levemente ondulada
Fisiografía del sitio	:	Llano, con ondulaciones leves.
Forma del campo en los alrededores	:	Llanura ligeramente ondulada
Pendiente	:	3% plano o casi plano.
Vegetación	:	Sabana, pastizal natural. Bosque tropical premontano húmedo (62, 136).
Clima	:	Tropical húmedo (62, 136), precipitación pluvial de 3.296 mm anuales con precipitaciones bajas de 4 a 5 meses; temperatura media anual 25,7ºC (27).
Material parental	:	Sedimentario, altamente meteorizado. Sedimentos del pleistoceno (38, 109).
Drenaje	:	Bien drenado
Condiciones de humedad en el suelo	:	Humedad moderada
Profundidad a la tabla de agua	:	Profundo
Evidencia de erosión	:	Erosión no aparente
Influencia humana	:	Quema anual de pastos.

4.6.2 Descripción general del perfil

Suelo profundo, rojo, bien drenado, con moteado y pequeñas con - creciones en los horizontes B.

Suelo típico de sabana de Buenos Aires, altamente meteorizado, bien estructurado.

4.6.3 Descripción individual de los horizontes

A11 0 - 12 cm. Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/3) en húmedo y pardo (10YR 5/3) en seco; arcilloso; estructura granular, mediano, moderado; adherente, plástica, firme en húmedo, duro en seco; sin revestimientos; raíces finas, muy frecuentes; límite claro plano.

A12 12-26 cm. Pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo y amarillo parduzco (10YR 6/6) en seco; arcilloso; con moteado pardo oscuro (10YR 3/3), común, fino, distinto, claro; estructura bloque angular, mediano moderado; adherente, plástica, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, quebrados; raíces finas, comunes; microestructura bloque angular muy fina; límite claro, ondulado.

A3 26 - 44 cm. Rojo amarillento (5YR 4/8) en húmedo y amarillo rojizo (7,5YR 6/6) en seco, arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado; adherente, plástica, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delga

dos, continuos; raíces finas, pocas, microestructura bloque angular muy fina; límite claro, ondulado.

B21 44 - 85 cm. Rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo y rojo claro (2,5YR 6/8) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado; adherente, plástica, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces muy finas, muy pocas; microestructura bloque angular muy fina; límite gradual ondulado.

B 22 85 - 120 cm. Rojo (2,5YR 4/6) en húmedo y rojo claro (2,5YR 6/8) en seco; arcilloso; con moteado pardo amarillento oscuro (10YR 3/6), poco, mediano, prominente, nítido; estructura bloque subangular, grueso, moderado; adherente, plástica, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces muy finas, muy pocas; límite gradual ondulado.

B3 120-180+ cm. Rojo amarillento (5YR 5/6) en húmedo y amarillo rojizo (5YR 6/8) en seco; arcilloso; con moteado rojo (2,5YR 4/8), común, fino, prominente, nítido; estructura bloque subangular, mediano, moderado; ligeramente adherente, ligeramente plástica, friable en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; sin raíces; concreciones negras muy pequeñas.

CUADRO 16.- Características físicas del perfil 6 (CR-12)

Horizonte	Profundidad cm	Distribución de partículas: Arena muy gruesa y arena gruesa (%)	Arena media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural
A11	0 - 12	0,57	1,02	7,84	0,07	8,0	82,5	Arcilloso
A12	12 - 26	0,26	0,63	3,89	0,01	7,2	88,0	Arcilloso
A3	26 - 44	0,69	1,23	7,56	0,02	5,5	85,0	Arcilloso
B21	44 - 85	1,42	1,35	7,31	0,92	7,5	81,5	Arcilloso
B22	85 -120	0,40	0,36	1,73	0,01	8,0	89,5	Arcilloso
B3	120 -180+	1,17	1,73	11,33	0,27	11,5	74,0	Arcilloso

Horizonte	Arcilla dispersada en agua (%)	Densidad aparente (rango) (gr/cc)	Densidad partículas (gr/cc)	Porosidad (%)	Retención de humedad: Saturado (%)	0,1 Bar (%)	1/3 Bar (%)	1 Bar (%)	5 Bares (%)	10 Bares (%)	15 Bares (%)
A11	18,2	1,08-1,10	2,55	57,1	83,7	41,3	39,5	35,3	30,5	27,6	27,3
A12	0,9	1,09-1,13	2,61	57,1	71,0	38,6	38,5	33,7	30,9	28,8	28,6
A3	0,07	1,07-1,11	2,63	58,2	77,0	43,5	43,4	37,1	32,6	30,8	30,4
B21	0,07	1,05-1,11	2,66	59,2	80,7	46,0	45,2	39,5	35,8	33,5	33,0
B22	0,15	1,10-1,11	2,66	58,0	80,5	43,5	43,4	37,7	34,4	32,5	32,4
B3	0,02	1,14-1,16	2,67	56,7	78,1	42,4	39,9	37,1	31,2	31,1	31,0

CUADRO 17.- Características químicas y análisis elemental del perfil 6 (CR-12)

Horizonte	pH		Materia orgánica (%)	Carbón orgánico (%)	Nitrógeno total (%)	C/N	Fósforo soluble (ppm)	Oxidos de hierro libres (% Fe2O3)
	H2O	Cl2Ca 0.01 M						
A11	5,2	4,4	8,2	4,7	0,25	18,9	Trazas	5,6
A12	5,6	4,6	3,8	2,2	0,12	18,2	"	6,7
A3	6,0	4,8	2,8	1,6	0,09	17,8	0,02	6,4
B21	6,6	4,9	1,3	0,8	0,05	15,0	0,02	8,0
B22	6,4	4,9	0,7	0,4	0,03	13,3	0,025	9,0
B3	6,1	4,8	0,6	0,3	0,02	17,0	0,02	9,8

Horizonte	Elementos totales ****						Relaciones moleculares ****		
	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	K2O (%)	CaO (%)	MgO (%)	SiO2/Al2O3	SiO2/R2O3	Al2O3/Fe2O3
A11	27,2	32,0	11,1	0,96	0,01	0,15	1,4	1,2	4,5
A12	29,3	24,7	11,2	1,60	0,08	0,03	2,0	1,6	3,4
A3	28,9	17,0	11,7	2,00	0,0003	0,03	2,9	2,0	2,2
B21	27,6	18,3	11,0	1,90	0,0003	0,02	2,6	1,8	2,4
B22	26,7	18,3	12,0	1,50	0,003	0,02	2,5	1,8	2,3
B3	23,1	19,6	13,8	0,80	0,006	0,12	2,0	1,4	2,2

**** Determinado en el suelo.

CUADRO 18.- Complejo de cambio del perfil 6 (CR-12)

Horizonte	Meq.determinados/100 gr. de suelo					Meq.determinados/100 gr. de suelo						Meq.determinados/100 gr. de	
	CIC*	Bases cambiables Ca*	Mg*	K*	S.B.* (%)	CIC**	Bases cambiables Ca**	Mg**	K**	Aluminio extraí-ble**	S.B.** (%)	Arcilla CIC*	Limo CIC*
A11	17,9	0,3	0,07	0,1	2,6	16,0	0,02	0,6	0,14	11,2	4,7	33,4	3,0
A12	12,7	0,1	0,05	0,07	1,8	13,8	0,01	0,2	0,05	8,2	1,8	19,4	2,3
A3	13,1	0,1	0,05	0,05	1,5	15,1	0,01	0,3	0,03	6,5	2,2	28,9	4,2
B21	18,1	0,1	0,04	0,04	1,0	18,4	0,01	0,02	0,01	5,3	0,2	28,6	2,3
B22	20,4	0,1	0,04	0,03	0,9	18,5	0,01	0,01	0,01	4,2	0,1	30,4	3,0
B3	16,5	0,1	0,02	0,04	0,9	15,3	0,01	0,02	0,01	3,5	0,3	36,9	7,6

Horizonte	CIC arcilla *** (calculada) Meq./100 gr.	Relación entre bases							
		Ca/Mg*	Ca/K*	Mg/M*	Ca+Mg/K*	Ca/Mg**	Ca/K**	Mg/K**	Ca+Mg/K**
A11	21,7	4,2	3,0	0,7	3,7	0,03	0,1	4,2	4,4
A12	14,4	2,0	1,4	0,7	2,1	0,05	0,2	4,0	4,2
A3	15,5	2,0	2,0	1,0	3,0	0,03	0,3	10,0	10,3
B21	22,1	2,5	2,5	1,0	3,5	0,5	1,0	2,0	3,0
B22	23,0	2,5	3,3	1,3	4,6	1,0	1,0	1,0	1,0
B3	22,1	5,0	2,5	0,5	3,0	0,5	1,0	2,0	3,0

* Determinado con acetato de amonio pH 7.0
** " " " " " pH 4.8
*** $\frac{\text{CIC* del suelo x 100}}{\text{\% arcilla}}$
S.B. Saturación de bases

4.6.4 Discusión

Este perfil por sus características morfológicas es altamente desarrollado. El color pardo tiene relación con la materia orgánica, y el rojo con los óxidos de hierro, al mismo tiempo se deduce que son suelos con buen drenaje, aunque hay cierta evidencia de capa fluctuante de agua por el moteado que presenta. El "chroma" alto también puede deberse al alto contenido de ácido fúlvico.

En los "peds" se observan revestimientos de arcilla, posiblemente por iluviación, ya que hay cierto incremento de arcilla en los horizontes B.

La densidad aparente y la de partículas entran dentro el valor promedio de los suelos minerales, es posible que ambas características tengan relación con el material sedimentario del cual se originan estos suelos. El porcentaje de agua disponible calculado en base al porcentaje de retención de humedad es bajo.

En regla general, que en los horizontes A de estos suelos la materia orgánica y el nitrógeno total es alto y en los B bajo. Las relaciones se mantienen altas en todo el perfil.

La CIC del suelo, en ambas condiciones de pH dan valores casi semejantes, lo cual es signo de que la influencia de las cargas dependientes del pH casi están ausentes. La CIC de la fracción arcilla es más alta que la del suelo, esto puede tener su explicación como en los perfiles antes discutidos.

El porcentaje de saturación de bases y la relación entre ellas,

muestra el desbalance nutricional en estos suelos.

En base a los óxidos totales de silicio, aluminio, hierro, calcio, magnesio, potasio y las relaciones SiO_2/Al_2O_3, SiO_2/R_2O_3 y Al_2O_3/Fe_2O_3 se deduce que son suelos altamente meteorizados.

4.6.5 Clasificación del perfil CR-12 y discusión de sus categorías

Los suelos que pertenecen al perfil CR-12, de acuerdo a sus características morfológicas, físicas, químicas, de sitio y material parental, son clasificadas en las siguientes categorías (140, 141).

Orden : Ultisol

Sub-orden: Humults

Gran grupo: Palehumults

Sub-grupo : Orthoxic Palehumults

Familia : Clayey, kaolinitic, isohyperthermic

Las siguientes características son consideradas para definir las categorías:

Criterio para el Orden

Se supone que este perfil presenta un horizonte argílico como diagnóstico, principalmente por la existencia de revestimientos de arcilla de tipo delgado y continuo. Aunque la influencia de la iluviación de arcilla no es evidente, al no existir el aumento requerido para considerar como horizonte argílico.

Ante la suposición de la existencia del horizonte argílico como diagnóstico y la evidencia del porcentaje bajo de la saturación de bases, se clasifican estos suelos dentro el Orden de los Ultisoles.

Estos suelos reúnen las siguientes características para ser considerados como Ultisoles:

1. No presentan fragipan, y el porcentaje de saturación de bases es menos de 35% a los 1,25 m debajo del borde superior del horizonte considerado como argílico o 1,8 m debajo de la superficie.
2. No tiene plintita de fase continua entre los 30 cm de la superficie del suelo.
3. Se supone que la temperatura media anual del suelo es más alta que 8°C y la diferencia de la temperatura del suelo entre medias de verano e invierno es de 5°C.

Las siguientes características sirven como criterio para ubicar estos suelos dentro el Sub-orden Humults:

1. Tiene más de 1,5% de materia orgánica (0,87% C) en los 15 cm superiores al horizonte argílico.
2. Tiene más de 20 Kg de materia orgánica en una unidad de volumen de 1 metro cuadrado a la profundidad de 1 metro debajo del horizonte O.
3. Nunca están saturados con agua.

Se tienen las siguientes características para considerarlos dentro el Gran grupo de los Palehumults:

1. Se supone que en el horizonte argílico tiene menos del 10% de minerales meteorizables, por el contenido (5,5 a 11,5%) bajo de la fracción limo, que presentan estos suelos.

2. La fracción arcilla no decrece en un 20% de la cantidad máxima, en una distancia vertical máxima de 1,5 m desde la superficie.

A continuación se describen las características de este perfil para ubicarlo dentro del Sub-grupo Orthoxic Palehumults:

1. Tienen la capacidad de cambio de cationes por debajo de 24 me/100 gr de arcilla (determinado en NH4OAc).
2. No tienen moteado con "chromas" de 2 ó menos entre los 25 cm superiores del horizonte argílico.
3. La temperatura media anual del suelo es 22° ó más alto.
4. Se supone que los suelos son secos en algún horizonte entre los 18 y 50 cm en muchos años, pero pueden estar secos por 60 días consecutivos.

Las características antes mencionadas tienen semejanza en parte con el Sub-grupo Typic Palehumults, difiere de éste por la capacidad de cambio de cationes.

Las características que reúne este perfil para considerarlo dentro de la familia Clayey, kaolinitic, isohyperthermic, son descritas a continuación:

1. El contenido de arcilla es superior a los 60%
2. Se supone que el contenido coloidal predominantemente es la caolinita por la capacidad de cambio baja que tienen estos suelos. A pesar de que Holdridge et al. (62) informan de que la composición coloidal es de 70% de gibsita y 30% de caolinita para los suelos de esta área. Bornemisza (11) al referir

se a los suelos de esta área indica que la composición coloidal es amorfa mezclada con caolinita.

3. Se supone que la temperatura media anual del suelo es más de 22°C.

4.7 Perfil 7 (CR-17)

4.7.1 Información del sitio

Nombre del suelo	:	Latosol (38, 62)
Localidad	:	18 Km al sur de San Isidro del General, sobre la carretera entre San Isidro del General y Buenos Aires; provincia de San José. Aproximadamente 9°16' N. 83°37' O.
Elevación	:	750 m.s.n.m.
Fecha de observación	:	27 de septiembre, 1968
Autor	:	M. Macías
Forma de la tierra	:	Ondulada
Fisiografía del sitio	:	Terrazas altas onduladas
Forma del campo en los alrededores	:	Terrazas altas onduladas
Pendiente	:	10% ligera pendiente
Vegetación	:	Pastizal, antes bosque secundario. Bosque húmedo premontano húmedo (62, 136).
Clima	:	Tropical húmedo (62, 136), precipitación pluvial de 3.296 mm anuales, temperatura 25,7°C (27).

Material parental : Sedimentario, aluviales del pleistoceno (38, 109).

Drenaje : Bien drenado.

Condiciones de humedad en el suelo : Humedad moderada

Profundidad a la tabla de agua : Profundo

Evidencia de erosión : Erosión moderada

Influencia humana : Quema anual de pastos

4.7.2 Descripción general del perfil

Suelo profundo, rojo, lixiviado, sin piedras, bien drenado, típico de topografía ondulada, suelo bien estructurado, con algo de concreciones en el subsuelo. Presenta microestructura bloque angular, firme, que da la apariencia de concreciones.

4.7.3 Descripción individual de los horizontes.

A11 0 - 10 cm. Pardo oscuro a pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo y pardo oscuro (10YR 4/3) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado; ligeramente adherente, ligeramente plástica, firme en húmedo, duro en seco; sin revestimientos; raíces finas, frecuentes, límite claro, plano.

A12 10 - 27 cm. Pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo y pardo fuerte 7,5YR 5/6) en seco· arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado; ligeramente ahderente, ligeramente plástica, firme en húmedo, duro en seco;

revestimientos delgados, quebrados; raíces muy finas, pocas; límite claro, ondulado.

A3 27 - 37 cm. Pardo rojizo (5YR 4/4) en húmedo y amarillo rojizo (7,5YR 6/6) en seco: arcilloso; estructura bloque subangular mediano, moderado: ligeramente adherente, ligeramente plástico, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raícesmuy finas, muy pocas; límite claro, ondulado.

B1 37 - 75 cm. Rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo y amarillo rojizo (5YR 7/6) en seco: arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado: adherente, plástico, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces muy finas, muy pocas; límite gradual ondulado.

B21 75 - 110 cm Rojo (2,5YR 4/6) en húmedo y amarillo rojizo (5YR 6/6) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado: adherente, plástica, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces muy finas, muy pocas; límite gradual, ondulado.

B22 110-155 cm. Rojo (2,5YR 4/6) en húmedo y rojo claro (2,5YR 6/6) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado; adherente, plástico, friable en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; sin raíces: límite difuso, ondulado.

B3 155-190 + cm. Rojo oscuro (2,5YR 3/6) en húmedo y rojo (2,5YR 5/6) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado; adherente, plástico, friable en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; microestructura bloque angular firme muy fina, que da la apariencia de concreciones.

4.7.4 Discusión

Perfil con solum muy profundo y horizontes bien desarrollados.

El color pardo de los horizontes A está relacionado con el alto contenido de materia orgánica y el rojo con el alto porcentaje de óxidos de hierro; el "chroma" alto de los horizontes B posiblemente relacionado con los altos contenidos de ácido fúlvico.

Los valores bajos o altos de densidad aparente y de partículas comparados con el valor promedio asignado a los suelos minerales, tienen relación directa con el contenido de materia orgánica y los óxidos de hierro.

El porcentaje de retención de humedad gravimétrica es mediano, pero el porcentaje volumétrico y de disponibilidad de agua es bajo.

Los "peds" de casi todos los perfiles llevan revestimientos de arcilla, lo cual evidencia el ligero aumento de arcilla hasta cierta profundidad del perfil.

La reacción menos ácida de los horizontes B se debe por el contenido bajo de aluminio extraible, a pesar de ser bajos en bases.

CUADRO 19.- Características físicas del perfil 7 (CR-17)

Horizonte	Profundidad cm	Distribución de partículas: arena muy gruesa y arena gruesa (%)	Arena media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural
A11	0 - 10	4,91	4,26	12,53	1,30	5,5	71,5	Arcilloso
A12	10 - 27	2,23	1,86	8,48	0,43	6,5	80,5	Arcilloso
A3	27 - 37	3,08	2,37	9,02	0,03	4,5	81,0	Arcilloso
B1	37 - 75	2,35	2,96	8,85	0,34	4,5	81,0	Arcilloso
B21	75 -110	0,69	1,01	11,83	0,27	10,0	76,2	Arcilloso
B22	110 -155	0,35	0,93	11,71	0,01	9,0	78,0	Arcilloso
B3	155 -190+	1,47	1,89	12,61	0,03	14,5	69,5	Arcilloso

Horizonte	Arcilla dispersada en agua (%)	Densidad aparente (rango) (gr/cc)	Densidad partículas (gr/cc)	Porosidad (%)	Retención de humedad: Saturado (%)	0,1 Bar (%)	1/3 Bar (%)	1 Bar (%)	5 Bares (%)	10 Bares (%)	15 Bares (%)
A11	1,3	0,94-0,97	2,47	61,2	98,6	53,1	44,7	41,3	34,9	34,2	33,1
A12	3,8	0,94-1,04	2,52	60,2	76,1	46,7	39,5	35,9	32,6	32,5	30,6
A3	0,04	1,01-1,08	2,59	59,2	77,1	48,9	40,4	37,4	32,8	32,3	31,6
B1	0,06	1,06-1,12	2,62	58,0	73,4	50,2	40,8	36,8	34,8	33,0	32,6
B21	0,19	1,18-1,25	2,63	53,2	68,7	44,3	38,3	35,4	32,3	31,5	30,0
B22	0,24	1,25-1,31	2,65	51,0	68,5	44,8	38,6	34,4	30,9	29,6	29,0
B3	0,06	1,28-1,30	2,67	51,5	68,0	44,9	40,0	34,8	31,5	29,6	29,6

CUADRO 20.- Características químicas y análisis elemental del perfil 7 (CR-17)

Horizonte	pH		materia orgánica (%)	Carbón orgánico (%)	Nitrógeno total (%)	C/N	Fósforo soluble (ppm)	Oxidos de hierro libres (% Fe2O3)
	H2O	Cl2Ca 0.01 M						
A11	5,2	4,6	14,6	8,4	0,51	16,5	0,06	5,3
A12	5,2	4,5	5,5	3,2	0,21	15,0	0,04	5,4
A3	5,4	4,6	3,1	1,8	0,10	18,2	0,025	5,6
B1	5,7	5,3	1,4	0,8	0,05	16,4	0,03	7,7
B21	5,7	5,5	1,1	0,6	0,03	20,3	0,02	8,6
B22	6,0	5,4	0,7	0,4	0,03	14,3	0,02	9,3
B3	5,7	5,3	0,5	0,3	0,02	15,0	Trazas	9,7

Horizontes	Elementos totales ****						Relaciones moleculares ****		
	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	K2O (%)	CaO (%)	MgO (%)	SiO2/Al2O3	SiO2/R2O3	Al2O3/Fe2O3
A11	16,9	19,9	12,4	1,0	0,02	0,05	1,4	1,0	2,5
A12	14,8	19,8	13,2	0,24	0,001	0,10	1,3	0,9	2,3
A3	15,0	21,1	13,2	0,24	0,008	0,16	1,2	0,9	2,5
B1	14,6	20,5	14,0	0,20	0,008	0,12	1,2	0,8	2,2
B21	4,5	19,2	14,8	0,18	0,0003	0,22	0,4	0,3	2,0
B22	5,8	18,8	14,8	0,15	0,0008	0,12	0,4	0,3	2,0
B3	5,8	33,8	15,4	0,25	0,0006	0,05	0,3	0,2	3,4

**** Determinado en el suelo.

CUADRO 21.- Complejo de cambio del perfil 7 (CR-17)

Horizonte	Meq.determinados/100 gr. de suelo					Meq.determinados/100 gr. de suelo						Meq.determinados/ 100 gr. de	
	CIC*	Bases cambiables Ca*	Mg*	K*	S.B.* (%)	CIC**	Bases cambiables Ca**	Mg**	K**	Aluminio extraí-ble**	S.B.** (%)	Arcilla CIC*	Limo CIC*
A11	29,5	1,3	0,8	0,6	9,1	25,0	0,3	0,9	0,6	14,3	7,2	21,5	10,6
A12	14,9	0,2	0,1	0,3	4,0	13,4	0,01	0,1	0,3	12,3	3,0	28,4	2,3
A3	11,3	0,2	0,1	0,2	4,4	13,3	0,01	0,1	0,3	6,3	3,0	25,0	2,6
B1	12,0	0,1	0,1	0,1	2,5	13,4	0,01	0,1	0,03	3,6	1,0	12,5	2,3
B21	11,9	0,1	0,02	0,1	1,8	12,1	0,01	0,02	0,01	2,3	0,3	9,8	4,2
B22	10,9	0,1	0,01	0,04	1,3	11,2	0,01	0,03	0,03	2,4	0,6	12,4	2,3
B3	13,3	0,1	0,01	0,1	1,5	12,6	--	0,1	0,03	2,8	1,0	13,1	1,5

Horizonte	CIC arcilla *** (calculada) Meq./100 gr.	Relación entre bases							
		Ca/Mg*	Ca/K*	Mg/K*	Ca+Mg/K*	Ca/Mg**	Ca/K**	Mg/K**	Ca+Mg/K**
A11	41,2	1,6	2,1	1,3	3,5	0,4	0,5	1,5	2,0
A12	18,5	2,0	0,6	0,3	1,0	0,1	0,03	0,3	0,4
A3	14,0	2,0	1,0	0,5	1,5	0,1	0,03	0,3	0,4
B1	14,8	1,0	1,0	1,0	2,0	0,1	0,3	3,3	3,6
B21	14,3	5,0	1,0	0,2	1,2	0,5	1,0	2,0	3,0
B22	14,0	10,0	2,5	0,3	2,7	0,3	0,3	1,0	1,3
B3	19,1	10,0	1,0	0,1	1,1	0,0	0,0	3,3	2,7

* Determinado con acetato de amonio pH 7.0
** " " " " " pH 4.8
*** $\frac{\text{CIC* del suelo x 100}}{\text{\% arcilla}}$
S.B. Saturación de bases

La CIC del suelo es muy baja en ambas condiciones de pH, aspecto que demuestra que toda la CIC se debe a las cargas permanentes. La CIC de la fracción arcilla comparada con la del suelo, en los horizontes A aumenta a casi el doble, en cambio en los B se mantiene con valores similares; el aumento que se opera posiblemente se deba a la mayor superficie de adsorción como efecto del pretratamiento en la separación de la arcilla o a la liberación de las cargas negativas al ser removidos el aluminio y el hierro.

El porcentaje de saturación de bases y las relaciones entre ellas son muy bajas, evidencia de una lixiviación muy fuerte, consecuentemente existe un marcado desbalance nutricional.

Con el conjunto de los óxidos de elementos totales, las relaciones de SiO_2/Al_2O_3, SiO_2/R_2O_3 y Al_2O_3/Fe_2O_3, las características morfológicas, la relación limo/arcilla y los valores bajos de arcilla dispersable en agua, se juzga de que estos suelos son los más altamente meteorizados en comparación con el resto de los perfiles.

4.7.5 Clasificación del perfil CR-17 y discusión de sus categorías

Los suelos del perfil CR-17, de acuerdo con sus propiedades morfológicas, químicas, físicas, condiciones de clima y material parental, son clasificados en las siguientes categorías (140, 141):

Orden	:	Ultisol
Sub-orden	:	Humults
Gran grupo	:	Palehumults
Sub-grupo	:	Orthoxic Palehumults
Familia	:	Clayey, kaolinitic, isohyperthermic

Existe otra alternativa para clasificar estos suelos en el orden Oxisol (140, 141)

Las siguientes características son consideradas para definir estos suelos como Ultisoles:

Criterio para el Orden

Se supone que el horizonte argílico constituye los horizontes B y parte de los A, ya que el aumento de arcilla se produce en el paso de A11 a A12 y con ligeros aumentos en los B, este aumento A11 a A12 es más de 8%. También parte de los horizontes de A y todos los B presentan revestimientos de arcilla en los "peds".

Con la suposición de la existencia del horizonte argílico y ante la evidencia del porcentaje bajo de saturación de bases, a este suelo se le clasifica en el orden Ultisol.

Para ser considerados como Ultisol presentan las siguientes características:

1. No tienen fragipan, y el porcentaje de saturación de bases es menos de 35% a los 1,25 m debajo del borde superior del horizonte considerado como argílico o a 1,8 m debajo de la superficie.
2. No tiene plintita contínua entre los 30 cm de la superficie.
3. Se supone que la temperatura media anual del suelo es más alta que 8°C y la diferencia de la temperatura del suelo entre las medias de verano e invierno es de 5°C.

Las siguientes características sirven como criterio para ubicar estos suelos en el Sub-orden Humults:

1. Tiene más de 1,5 % de materia orgánica (0,87% C) en los 15 cm superiores al horizonte argílico.
2. Tiene más de 20 Kg. de materia orgánica en una unidad de volumen de 1 metro cuadrado a la profundidad de 1 metro debajo del horizonte O.
3. Nunca están saturados con agua.

Las siguientes características definen el Gran grupo de los Palehumults al que pertenecen estos suelos:

1. Se supone que en el horizonte argílico tiene menos del 10% de minerales meteorizables, esto se deduce por el contenido bajo (4,5 a 10,0%) de la fracción limo, que presentan estos suelos.
2. La fracción arcilla no decrece en un 20% de la cantidad máxima, en una distancia vertical máxima de 1,5 m desde la superficie.

Las características que se describen a continuación sirven para ubicar a estos suelos dentro del Sub-grupo Orthoxic Palehumults:

1. Tienen capacidad de cambio de cationes por debajo de 24 me/100 gr. de arcilla (determinado en NH4OAc).
2. No tiene moteado con chromas de 2 ó menos entre los 25 cm superiores del horizonte argílico.
3. La temperatura media anual del suelo es 22°C ó más alta.
4. Se supone que los suelos son secos en algún horizonte entre los 18 y 50 cm en muchos años, pero pueden estar secos por 60 días consecutivos.

Casi la mayoría de las características citadas, tienen semejanza para el Sub-grupo Typic Palehumults.

Este perfil reúne características para definir en la familia Clayey, Kaolinitic, Isohyperthermic, por lo siguiente:

1. El contenido de arcilla es superior a los 60%.
2. Se supone que el contenido coloidal constituye la caolinita, esto se deduce por la baja capacidad de cambio catiónico.
3. Se supone que la temperatura media anual del suelo es más de 22°C.

La otra alternativa de clasificación es considerar a este perfil como Oxisol.

Los criterios que muestran características de un Oxisol son:

1. Considerar a los horizontes B como horizonte diagnóstico Oxico (a pesar de tener revestimientos de arcilla en los "peds").
2. Por el espesor de los B, que son superiores a los 30 cm.
3. Por los límites inferiores de los horizontes B21 y B22 que es gradual y difuso.
4. Por la capacidad de cambio de cationes similares a 16 me/ 100 gr. de arcilla.
5. La arcilla dispersada en agua es (0,19 a 0,24%) baja.
6. Las bases cambiables y aluminio extraible inferior a 10 me/ 100 gr de arcilla.

Las características que son tomadas en cuenta para definir estos suelos dentro el Sub-orden Ustox radica en lo siguiente:

1. Se supone que tiene algún horizonte debajo de la superficie a 18 cm que es seco por 60 días consecutivos o más en muchos años.
2. Se supone que la temperatura media anual del suelo es de 15°C ó más.
3. Tiene el "value" en húmedo menos de 3 en una parte del epipedon.

Con las siguientes características se pueden definir a estos suelos como pertenecientes al Gran grupo de los Haplustox:

1. Tienen las bases cambiables más el aluminio extraible superior a 1 me/100 gr de arcilla.
2. Tienen la saturación de bases menos de 50% en alguna parte del horizonte óxico.

Con las características que muestra este perfil se puede clasificar a los suelos de este perfil en el Sub-grupo Tropeptic Haplustox:

1. No tiene moteado con chromas de 2 ó menos o acompañado por rojo o rojo oscuro en el moteado entre los 1,25 m de la superficie.
2. Tiene textura más fina que el franco arcillo arenoso.
3. Tiene estructura bloque subangular mediano, moderado.

Tiene semejanza con los Typic Haplustox, pero difiere de éste en extensión del horizonte óxico y la estructura.

La familia está definida por las siguientes características que presenta este perfil:

1. Very fine por el contenido de arcilla alto, superior a los 60%.
2. El coloide predominante en la fracción arcilla posiblemente sea la caolinita, esto se supone por la baja capacidad de cambio que tienen estos suelos.
3. Se supone que la temperatura media anual del suelo es más de 22°C.

4.8 Perfil 8 (CR-20)

4.8.1 Información del sitio

Nombre del suelo	:	Latosol (38, 62)
Localidad	:	A 2 Km al noreste antes de llegar a la ciudad de San Isidro del General sobre la carretera Cartago-San Isidro del General; provincia de San José. Aproximadamente 9°24' N. 83°44' O.
Elevación	:	900 m.s.n.m.
Fecha de observación	:	24 de septiembre 1968
Autor	:	M. Macías
Forma de la tierra	:	Colinoso, pie de montaña
Fisiografía del sitio	:	Ondulado, alomado
Forma del campo en los alrededores	:	Colinoso
Pendiente	:	13%, pendiente ligera
Vegetación	:	Pasto cultivado, yaragua. Bosque húmedo, piso basal (62, 136).

Clima	:	Tropical húmedo (62, 136) con tres meses de precipitación pluvial baja. Precipitación 2.684 mm anuales y temperatura media anual 24,2°C (27).
Material parental	:	Roca sedimentaria (posiblemente arenisca, esquisto arcilloso). Sedimentario del pleistoceno (38, 109).
Drenaje	:	Bien drenado
Condiciones de humedad en el suelo	:	Buena humedad
Profundidad a la tabla de agua	:	Profundo
Evidencia de erosión	:	Erosión moderada
Influencia humana	:	Quema anual de pastos

4.8.2 Descripción general del perfil

Suelo profundo, bien drenado, rojo lixiviado, sin piedras, sin moteado a través del perfil. Suelo típico de regiones colinosas de pie de montaña.

La roca madre se encuentra a unos ocho metros de profundidad, en un proceso muy avanzado de meteorización.

4.8.3 Descripción individual de horizontes

A1 0 - 7 cm. Pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo y pardo (7,5YR 5/4) en seco· arcilloso· estructura granular, grueso, moderado; ligeramente adherente, plástica, friable en húmedo, duro en seco; revestimientos delga

dos, quebrados; raíces finas, abundantes; límite claro, ondulado.

A3 7 - 25 cm. Pardo rojizo oscuro (5YR 3/4) en húmedo y pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en seco; arcilloso, estructura bloque subangular, mediano, moderado; ligeramente adherente, plástica, friable en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces finas, abundantes; límite claro, ondulado.

B1 25 - 40 cm. Pardo rojizo (5YR 4/3) en húmedo y rojo amarillento (5YR 4/6) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, mediano, moderado; adherente, plástico, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces finas, frecuentes; límite gradual ondulado.

B21 40-65 cm. Rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo y pardo rojizo (5YR 5/4) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, grueso, fuerte; adherente, plástica, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces finas, comunes; límite gradual ondulado.

B22 65-105 cm. Rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo y pardo rojizo (5YR 5/4) en seco; arcilloso; estructura bloque subangular, grueso, fuerte; adherente, plástica, firme en húmedo, duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces finas, pocas; límite claro, ondulado.

B3 105 - 160 cm. Pardo rojizo oscuro (5YR 3/4) en húmedo y pardo rojizo (5YR 5/3) en seco; arcilloso: estructura bloque subangular, grueso, moderado; adherente, plástica, friable en húmedo, muy duro en seco; revestimientos delgados, continuos; raíces finas, muy pocas.

4.8.4 Discusión

Este perfil tiene el solum profundo, los horizontes A son delgados, y los B muy gruesos.

La densidad aparente baja de los horizontes A tienen relación con el alto contenido de materia orgánica y la alta con la disminución. La densidad de partículas está relacionada con la materia orgánica y los óxidos de hierro.

Los porcentajes de porosidad y la retención gravimétrica de humedad tienden a ser altos, en cambio los porcentajes volumétricos y de disponibilidad de agua tienden a ser medianos.

La materia orgánica y el nitrógeno total en los horizontes A son altos y en los B muy bajos; la relación C/N tiende a ser baja, lo cual demuestra mayor disponibilidad de nitrógeno.

La CIC determinada en las dos condiciones de pH muestran valores similares, de donde se deduce que toda la CIC se debe a las cargas permanentes. La CIC de la arcilla comparada con la del suelo muestra valores ligeramente bajos, posiblemente por la destrucción de la materia orgánica.

CUADRO 22.- Características físicas del perfil 8 (CR-20)

Horizonte	Profundidad cm	Distribución de partículas						Clase textural
		Arena muy gruesa y Arena gruesa (%)	Arena media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	
A1	0 - 7	2,46	3,40	15,14	0,00	15,0	64,0	Arcilloso
A3	7 - 25	1,22	1,79	6,95	0,04	11,8	78,2	Arcilloso
B1	25 - 40	0,19	0,32	1,47	0,02	19,0	79,0	Arcilloso
B21	40 - 65	0,15	0,38	2,46	0,01	18,5	78,5	Arcilloso
B22	65 - 105	0,30	0,50	2,15	0,05	14,0	83,0	Arcilloso
B3	105 - 160+	0,43	0,59	4,46	0,32	15,7	78,3	Arcilloso

Horizonte	Arcilla dispersada en agua (%)	Densidad aparente (rango) (gr/cc)	Densidad partículas (gr/cc)	Porosidad (%)	Retención de humedad						
					Saturado (%)	0,1 Bar (%)	1/3 Bar (%)	1 Bar (%)	5 Bares (%)	10 Bares (%)	15 Bares (%)
A1	0,63	0,77-0,83	2,45	66,8	113,8	66,6	58,7	50,6	44,4	36,6	36,5
A3	1,90	0,78-0,91	2,57	67,1	91,3	62,1	51,3	45,2	39,8	35,6	35,5
B1	0,01	0,85-1,05	2,67	63,5	80,6	52,9	45,6	40,5	37,3	33,3	33,3
B21	0,01	1,03-1,05	2,73	62,0	83,3	55,0	48,5	43,4	40,4	35,6	35,6
B22	0,01	1,00-1,06	2,73	62,0	82,4	54,6	48,4	43,4	38,6	35,8	35,6
B3	0,02	0,98-1,04	2,74	62,9	88,5	59,7	50,5	45,9	41,5	36,8	36,3

CUADRO 23.- Características químicas y análisis elemental del perfil 8 (CR-20)

Horizonte	pH		Materia orgánica (%)	Carbón orgánico (%)	Nitrógeno total (%)	C/N	Fósforo soluble (ppm)	Oxidos de hierro libre (% Fe2O3)
	H2O	Cl2Ca 0.01 M						
A1	5,3	4,7	14,5	8,4	0,56	18,1	0,05	7,6
A3	5,3	4,7	7,8	4,5	0,33	13,9	0,04	8,5
B1	5,4	4,6	1,9	1,1	0,12	9,0	Trazas	11,0
B21	5,9	4,8	1,8	1,1	0,12	12,9	Trazas	10,9
B22	6,0	4,8	0,9	0,5	0,08	6,1	0,025	11,2
B3	6,2	4,8	0,7	0,4	0,07	5,4	0,02	11,3

Horizonte	Elementos totales ****						Relaciones moleculares ****		
	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	K2O (%)	CaO (%)	MgO (%)	SiO2/Al2O3	SiO2/R2O3	Al2O3/Fe2O3
A1	22,2	24,6	14,6	1,2	0,04	0,11	1,5	1,1	2,6
A3	28,6	23,7	15,6	1,1	0,02	0,10	2,0	1,4	2,4
B1	30,2	24,5	16,6	1,2	0,01	0,10	2,0	1,5	2,3
B21	20,5	27,3	16,5	1,2	0,004	0,18	1,3	0,9	2,6
B22	27,0	27,3	16,5	1,4	0,0003	0,14	1,7	1,2	2,6
B3	31,2	28,6	16,2	1,2	0,0003	0,14	1,9	1,4	2,8

**** Determinado en el suelo.

CUADRO 24.- Complejo de cambio del perfil 8 (CR-20)

Horizonte	Meq.determinados/100 gr. de suelo					Meq.determinados/100 gr. de suelo						Meq.determinados/100 gr. de	
	CIC*	Bases cambiables Ca*	Mg*	K*	S.B.* (%)	CIC**	Bases cambiables Ca**	Mg**	K**	Aluminio extraí-ble **	S.B.** (%)	Arcilla CIC*	Limo CIC*
A1	33,0	1,2	0,7	0,1	6,0	28,0	0,3	0,7	0,5	23,3	5,3	19,3	0,3
A3	23,6	0,8	0,2	0,2	5,0	23,4	0,1	0,2	0,2	25,7	2,1	20,6	0,1
B1	20,9	0,6	0,1	0,1	3,8	21,4	0,2	0,1	0,1	13,6	1,8	18,1	0,1
B21	21,7	0,5	0,1	0,1	3,2	22,0	0,1	0,1	0,1	7,4	1,3	15,6	0,1
B22	23,5	0,2	0,04	0,1	1,4	21,0	0,01	0,04	0,1	7,4	0,7	17,7	0,2
B3	23,1	0,2	0,1	0,1	1,7	21,1	0,01	0,05	0,1	6,7	0,7	17,1	0,1

Horizonte	CIC arcilla *** (calculada) Meq./100 gr.	Relación entre bases							
		Ca/Mg*	Ca/K*	Mg/K*	Ca+Mg/K*	Ca/Mg**	Ca/K**	Mg/K**	Ca+Mg/K**
A1	51,5	1,7	12,0	7,0	1,9	0,5	0,6	1,4	2,0
A3	30,1	4,0	4,0	1,0	5,0	0,5	0,5	1,0	1,5
B1	26,4	6,0	6,0	1,0	7,0	2,0	2,0	1,0	2,0
B21	28,1	5,0	5,0	1,0	6,0	1,0	1,0	1,0	1,0
B22	28,3	5,0	2,0	0,4	2,4	0,2	0,1	0,4	0,5
B3	29,4	2,0	2,0	1,0	3,0	0,2	0,1	0,5	0,6

* Determinado con acetato de amonio pH 7.0
** " " " " " pH 4.8
*** $\frac{\text{CIC* del suelo x 100}}{\text{\% arcilla}}$
S.B. Saturación de bases

La saturación de bases y las relaciónes entre ellas son muy bajas, efecto de la alta lixiviación y en consecuencia estos suelos tienen un desbalance nutricional muy marcado.

Las características morfológicas, la baja relación de limo/arcilla, el porcentaje bajo de arcilla dispersable en agua, los altos porcentajes de óxidos totales de aluminio y hierro y las relaciones bajas de SiO_2/Al_2O_3, SiO_2/R_2O_3 y Fe_2O_3 evidencian el alto grado de pedogénesis de estos suelos.

4.8.5 Clasificación del perfil CR-20 y discusión de sus categorías

Los suelos del perfil CR-20 y de las áreas adyacentes a este perfil, de acuerdo con sus propiedades morfológicas, físicas, químicas, climáticas y material parental, pueden ser clasificados en las siguientes categorías (140, 141):

Orden	:	Ultisol
Sub-orden	:	Humults
Gran grupo	:	Palehumults
Sub-grupo	:	Typic Palehumults
Familia	:	Clayey , mixed, isohyperthermic

Los criterios para la clasificación en las categorías antes citadas son discutidas a continuación:

Criterios para el Orden

En este perfil se supone que el horizonte argílico constituye los horizontes B y parte de A, o sea el horizonte diagnóstico posiblemente empieza en A3, ya que el incremento de arcilla requerido para con-

siderar como argílico se opera al pasar de A1 a A3. Por otra parte es evidente la existencia de revestimientos de arcilla en los "peds".

La distancia vertical en la que se opera el incremento de arcilla es en 18 cm exigencia que se cumple dentro los 30 cm máximos para el horizonte argílico.

Con la suposición de la presencia del horizonte argílico como diagnóstico en este perfil, se puede definir el orden como Ultisol.

Las siguientes características de este perfil permiten clasificar como Ultisoles:

1. No tienen fragipan y el porciento de saturación de bases es menor de 35% a los 1,25 m debajo del borde superior del horizonte argílico o a 1,8 m debajo de la superficie.
2. No tiene plintita de fase continua entre los 30 cm de la superficie.
3. Se supone que la temperatura media del suelo es más alta que 8°C y la diferencia de la temperatura del suelo entre las medias de verano e invierno es de 5°C.

A continuación se discuten los criterios que sirven de base para considerar a estos suelos como del sub-orden Humults:

1. Tienen más de 1,5% de materia orgánica (0,87% C) en los 15 cm superiores del horizonte argílico.
2. Tiene más de 20 Kg de materia orgánica en una unidad de volumen de 1 metro cuadrado a la profundidad de 1 metro debajo del horizonte O.

3. Nunca están saturados con agua.

Las siguientes características conducen a considerar a estos suelos dentro del gran grupo de los Palehumults:

1. Se supone que tienen en su horizonte argílico menos del 10% de minerales meteorizables, en razón del contenido bajo (11,8 a 19%) de la fracción limo que presentan estos suelos.
2. La distribución de la fracción arcilla es tal que no decrece de la cantidad máxima en un 20% en un máximo de 1,5 m desde la superficie.

Las características necesarias para ubicar dentro del Sub-grupo Typic Palehumults, son explicadas a continuación:

1. Tienen más de 24 me de capacidad de cambio de cationes por 100 gr de arcilla (determinado en NH4OAc) en la mayor parte del horizonte argílico.
2. No presenta moteado con chromas de 2 ó menos dentro de los 25 cm superiores del horizonte argílico.
3. Nunca están secos entre los 18 y 50 cm en más de 7 ó en exceso en 10 años en más de 60 días consecutivos.

La definición de la familia como Clayey, mixed, isohyperthermic, se debe a las siguientes características:

1. Por el contenido superior de 60% de la fracción arcilla.
2. Se supone que la clase de coloides minerales en la fracción arcilla es mezclado.

5. DISCUSION POR DETERMINACION

5.1 Perfiles de la zona Atlántica

Los perfiles CR-55, CR-47, Serie Colorado y CR-32 (Serie Paraí - so), están ubicados dentro de la unidad fisiográfica denominada ver - tiente Atlántica.

El perfil CR-55 cubre parte de las últimas estribaciones noreste de la cordillera Central, constituye casi la transición hacia los llanos de San Carlos. Los suelos de la Serie Colorado y CR-32 ocupan áreas de las estribaciones sudeste de la cordillera Central y el per - fil CR-47 las últimas estribaciones noreste de la cordillera de Talamanca.

Los perfiles de la Serie Colorado y el CR-32 integran las tie - rras de la región Oriental de la Meseta Central.

El origen del material de partida es volcánico en los perfiles de la Serie Colorado y CR-32, según estudios realizados por Dondoli y Torres (37) se describe como lava andesítica muy meteorizada e influenciada por la deposición de cenizas. El perfil CR-47 posiblemente tiene origen volcánico, por estar influenciado por lahares; según el estudio efectuado por la Unidad de Recursos del IICA (93) se considera como material sedimentario indiferenciado. Los suelos del perfil CR-55, según Nuhn y Pérez (97) tienen origen sedimentario o influen - ciado por lahares.

El relieve en general de estos suelos es ondulado a ligeramente

ondulado, con pendientes de 4 a 20%, la pendiente máxima es registrada para la Serie Colorado, que coincide con pendiente larga que cae en el valle de Turrialba.

De acuerdo al mapa ecológico de Tosi (136), los cuatro perfiles se encuentran distribuídos en la región tropical húmeda.

La vegetación natural es definida como bosque tropical muy húmedo, con transición a bosque premontano húmedo.

Las características morfológicas y resultados de análisis de las propiedades físicas y químicas se presentan a continuación.

5.1.1 Características morfológicas

Profundidad y espesor de los horizontes.

La profundidad del solum pasa de los 150 cm en los cuatro perfiles. El espesor y la disposición de los horizontes presentan variaciones como podrá observarse en la figura 1.

Por el espesor de los horizontes B se puede juzgar que son suelos con alto desarrollo pedogenético.

Color en húmedo y seco (cuadros 25 y 26)

El color en húmedo y en seco de los cuatro perfiles, varía de pardo oscuro a pardo rojizo oscuro en los horizontes A, y de pardo rojizo a pardo oscuro en los B con tendencia de rojo amarillento a pardo amarillento en los horizontes B3.

Los matices rojo amarillento y pardo amarillento concuerdan con el alto contenido de óxidos de hierro libre, y con las características de buen drenaje y alta lixiviación.

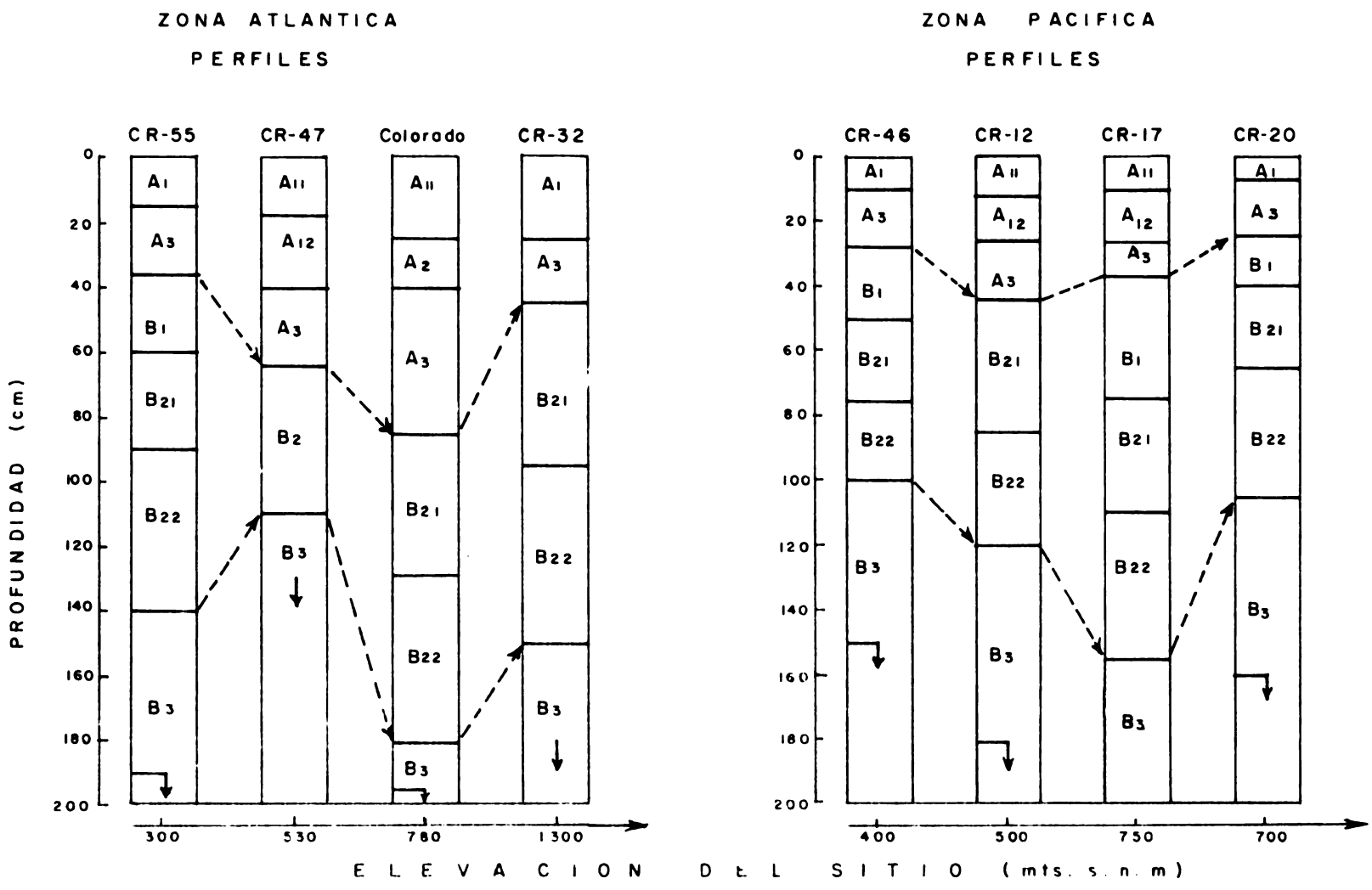

FIG. 1- DISTRIBUCION Y ESPESOR DE LOS HORIZONTES PARA CADA PERFIL.-

Estructura.

La estructura es de tipo bloque subangular, de tamaño mediano a grueso y con grado moderado,en la mayoría de los horizontes.

La casi uniformidad del tipo de estructura está de acuerdo con lo expuesto por Kohnke (72) quien considera que la edad influye en los cambios de la estructura y que los suelos muy desarrollados como los latosoles muestran cambios muy graduales, con tendencia a ser casi uniformes en todo el perfil, tal es el caso que presentan estos suelos. Por otra parte, este mismo autor (73) al referirse a la estructura de los suelos arcillosos indica que tiende a ser masivo, pero que por las condiciones en las cuales se forman los suelos tropicales bien drenados y al no tener arcillas expandibles, las partículas son agregados por los óxidos de hierro y aluminio; razón por la cual la tendencia de la estructura a ser granular o bloque subangular en estos suelos.

Consistencia

En los cuatro perfiles la consistencia varía de ligeramente adherente a adherente y de ligeramente plástica a plástica en mojado, de friable a muy friable en húmedo y de duro a muy duro en seco, tanto el horizonte A como en el B.

La plasticidad se relaciona con los porcentajes altos de óxido de silicio, la condición de friabilidad con el contenido alto de óxidos de hierro libre y la dureza con la deshidratación de los mismos óxidos (111).

Revestimientos de arcilla (clay skins)

Casi todos los horizontes de tres perfiles presentan revestimientos de arcilla, excepto el CR-47.

Con las observaciones de campo se han identificado como revestimientos del tipo delgado y continuo en todos los perfiles, excepto en el CR-55. No se puede precisar el origen de estos revestimientos (residual o lixiviado), en este sentido será necesario estudios posteriores para su identificación.

Límite de horizontes

Los límites característicos son claros y de topografía ondulada a plana en los horizontes A y de graduales a difusos, con topografía ondulada en los B.

Los límites gradual y difuso son característicos de suelos con alto grado de formación pedogenética y por esta razón los suelos latosólicos definidos por Kellog (68) incluyen como criterio esta propiedad morfológica, para definir como tales. En general casi todos los sistemas de clasificación consideran que los suelos altamente meteorizados como,latosoles (4, 5, 40, 41, 68), ferrisoles (36), ferralíticos (25, 20, 119), lateríticos (29, 88) y óxisoles (140, 141) poseen esta propiedad.

5.1.2 Características físicas

Densidad aparente (cuadro 27)

Dentro de la secuencia en altura que sigue la distribución de los perfiles (de 300 a 1.300 m.s.n.m.), la densidad aparente disminuye

con el aumento de elevación. Los valores menores a 1,0 fueron encontrados en casi todos los perfiles excepto en el CR-55.

Posiblemente esta densidad baja se deba al material de origen volcánico y parte a la materia orgánica.

El aumento de la densidad aparente con la profundidad se debe en parte a la disminución de la materia orgánica y al aumento gradual de la fracción mineral, no se puede evidenciar que por este aumento gradual la presencia de discontinuidad litológica en todo el solum.

Densidad de partículas

De acuerdo con los datos del cuadro 28, la densidad de partículas en los horizontes A muestran valores más bajos que el valor promedio asignado a los suelos minerales y en los B son más altos que este valor. La influencia de materia orgánica en los valores bajos es clara y de los óxidos de hierro en los valores altos.

Porcentaje de porosidad

El porcentaje de porosidad, cuadro 29, en su generalidad es superior al 60%, con ligera disminución con la profundidad, principalmente en el perfil CR-55.

El porcentaje de porosidad no muestra relación con la retención de humedad en estado saturado, posiblemente a consecuencia de las muestras distrubadas usadas para la determinación de la humedad.

Los porcentajes altos de porosidad guardan una relación estrecha con los valores bajos de densidad aparente y con el contenido de materia orgánica en los Horizontes A.

Retención de humedad

En los cuadros 30, 31 y 32, los datos de porcentaje de retención de humedad para tres medidas de tensión, dan valores de 80 a 100% para suelo saturado, 40% como regla general para la tensión de 1 bar, y 30% a 15 bares.

La mediana retención de humedad gravimétrica coincide con los suelos de densidad aparente baja, alta porosidad y el alto contenido de la fracción arcilla. Los porcentajes de humedad volumétrica y disponibilidad de agua son medianos en todos los perfiles excepto en CR-55 donde es bajo. Gavande (50), al estudiar esta propiedad, encontró valores similares para algunos horizontes de las series Colorado y Paraíso (CR-32).

El porcentaje de retención de humedad determinada en muestras disturbadas, según Salter y Williams (115) difiere considerablemente de los no disturbados, especialmente a tensiones bajas; esta diferencia es atribuída al error asociado con la estructura artificial y al rehumedecimiento; esto explica la discrepancia entre los porcentajes de porosidad y la retención en saturado y a 0,1 de bar, obtenidos en estos suelos.

Textura

Los porcentajes (cuadro 33) más altos dela fracción arcilla se registran para el perfil (CR-55), el cual se encuentra a menor elevación.

Con el aumento de elevación se observa una disminución no muy definida de la fracción arcilla; con la profundidad existe un aumento de

finido en la mayoría de los perfiles.

Las fracciones de limo (cuadro 34) y arena se presentan en por - centajes muy bajos, aspecto que induce a definir estos suelos como altamente meteorizados.

La relación limo/arcilla como índice de meteorización, según el cuadro 35, da valores de 0,13 a 0,30 para los horizontes A y de 0,04 a 0,35 para los B; en casi todos los perfiles las relaciones son menores al índice de 0,25 propuesto por van Wanbeke (146) para los suelos altamente meteorizados. Por otra parte Segalem (119) distingue a los suelos altamente evolucionados con la relación de 0,2 y los menos evolucionados con la relación más de 0,2. Este criterio es tomado por la evidencia del aumento de la fracción fina a medida que avanza la meteorización.

Otro índice de meteorización útil basado en la textura y referido al grado de formación del suelo es la relación textural entre los horizontes B/A, exceptuando B3, para este índice se tomó solamente la fracción arcilla, los valores encontrados fueron inferiores a 1,1 en casi todos los perfiles, valores inferiores al índice 1,8 propuesto de Bennema et al (5) para los suelos latosólicos del Brasil.

Arcilla dispersada en agua (cuadro 36)

Los porcentajes altos tienen relación con el alto contenido de materia orgánica; los valores bajos tienen relación con el incremento de los óxidos de hierro libre y posiblemente por su acción cementante.

Dentro del concepto de B latosol, citado por Sombroek (129), el contenido de arcilla natural o la dispersada en agua, debe ser infe -

rior al 1% en el horizonte B2, característica que coincide con los valores encontrados para los horizontes B21, B22 y B2 de los cuatro perfiles. También, este criterio es tomado en cuenta para definir el horizonte óxico como de diagnóstico de los suelos del orden oxisoles (140, 141).

5.1.3 Características químicas

Reacción del suelo (pH)

La reacción tiene poca variación con el sitio; en algunos perfiles se observa una gradual disminución de acidez con la profundidad.

El pH medido en agua (cuadro 37) es fuertemente ácido (pH 5,2-5,5) en casi todos los horizontes A, y de fuertemente ácidos (pH 5,1-5,5) a medianamente ácido (pH 5,6 a 5,9) en los horizontes B.

La reacción determinada en cloruro de calcio 0,01 M (cuadro 38) es muy fuertemente ácida (pH 4,5-4,9) en la mayoría de los perfiles, excepto en algunos horizontes de los perfiles CR-55 y CR-47, donde hay la tendencia a ser extremadamente ácidas (pH 4,2-4,3); como puede observarse existe menos variabilidad al ser determinado en esta solución, comparado con lo determinado en agua.

El alto contenido de aluminio extraible y baja saturación de bases ambos relacionados con la alta precipitación pluvial (mayor a 2.500 mm anuales) imparten esta condición de acidez a estos suelos.

La interpretación de los datos de pH han sido hechos en base a la escala propuesta por el Manual de Levantamiento de Suelos de USDA (139).

Materia orgánica

Los datos que muestra el cuadro 39, generalmente dan contenidos altos a medianos para los horizontes A y bajos para los B.

Es notoria la disminución del contenido con la profundidad, a partir de los 40 cm más o menos, la disminución es brusca; al llegar a los 150 cm el contenido casi se hace constante.

La disminución de la materia orgánica tiene la relación directa con la cantidad y distribución de las raíces a través del perfil.

Con el aumento de elevación no se observa ningún incremento, es posible que esta característica se debe al tipo de vegetación que cubre estos suelos. El criterio de aumento de materia orgánica con el aumento de elevación no se cumple en estos suelos, como sería de esperar en una diferencia de altura de 1.000 metros, en las que están distribuídos los cuatro perfiles.

La influencia de la materia orgánica en algunas propiedades morfológicas, físicas y químicas es notoria, así en el color oscuro de los horizontes A, en el porcentaje alto de arcilla dispersable en agua, en la retención de humedad, en las densidades aparentes bajas, en parte también en los contenidos relativamente altos de bases cambiables en los horizontes A, comparables con demás horizontes inferiores o B.

Delgado y García (33) toman la relación materia orgánica/nitrógeno total, como índice de transformación de la materia orgánica; de acuerdo con este índice, los valores bajos encontrados es posible que indiquen la transformación fuerte de la materia orgánica en estos

suelos.

Nitrógeno total (cuadro 40)

Hay cantidades relativamente altas en los horizontes A1 y A11 y medianas a bajas en los demás horizontes de A3 y muy bajas en los horizontes B.

La disminución con la profundidad es muy notoria en todos los perfiles y es drástica, más o menos a la profundidad de 40 cm.

Con el aumento de elevación, el nitrógeno total disminuye gradualmente, disminución que es manifiesta entre los 530 a 1.300 m.s.n.m.

Relación C/N (cuadro 41)

La relación carbón/nitrógeno es de mediana a alta en los horizontes A y de mediana a baja en los B.

Hay tendencia a ser bajos con la profundidad en todos los perfiles, lo que indica que hay más disponibilidad de nitrógeno y demanda de carbón. Este aspecto concuerda con lo expuesto por Dhar (34), en sentido de que el nitrógeno disponible es alto en los suelos tropicales.

Stevenson (124) al referirse a la relación C/N del suelo, indica que generalmente decrece con la profundidad y que el relativo aumento de amonio fijado da lugar a las relaciones bajas; esto explica las relaciones bajas encontradas en los suelos del área Atlántica.

En función de la altura la relación muestra aumento en algunos horizontes A, principalmente en los perfilesubicados entre las alturas de 530 a 1.300 m.s.n.m. y tendencia a disminuir en algunos horizontes B de casi todos los perfiles.

Oxidos de hierro libre

En el cuadro 42, se observa que los porcentajes de óxidos de hierro libre se incrementan en forma gradual con el aumento de elevación.

Con la profundidad también es notorio el incremento, principalmente a partir de los horizontes B; este incremento concuerda con el cambio de color ("hue" 7,5YR a 5YR).

Bornemisza e Igue (12) encontraron para los suelos de las series Colorado valores más bajos y para Paraíso (CR-32) más altos, que los determinados en este estudio. Hardy (55) al referirse al "latosol senil" Colorado menciona la existencia de 9% de óxidos de hierro amorfos en la fracción arcilla.

Capacidad de intercambio de cationes del suelo (cuadro 43)

La naturaleza de la capacidad de intercambio de cationes determinada en condición de pH 7.0 y expresada en me/100 gr de suelo muestra valores entre 24,2 a 39,9 me/100 gr capacidad de intercambio baja con tendencia a media.

La variación de la capacidad de cambio en la mayoría de los perfiles no guarda relación con el aumento de elevación.

Con la profundidad se observa aumento relativo en casi todos los perfiles, posiblemente debido al incremento de la fracción arcilla.

No se puede precisar el tipo de material coloidal que imparte esta capacidad, por falta de identificación del coloide que predomina en la fracción arcilla. Tentativamente usando la relación CIC del

suelo/arcilla - CIC del suelo/100, propuesto por Papadakis (99), se encontró para estos suelos, valores superiores a 0,50, lo cual significa que hay minerales arcillosos del tipo 2:1.

Saturación de bases

El porcentaje de saturación de bases, según el cuadro 46, da valores inferiores a 15 y 10%, excepto en los A1 y A11 de los perfiles CR-55 y CR-47, donde son ligeramente superiores. Esta baja saturación de bases es índice del proceso intenso de lixiviación a consecuencia de la precipitación alta reinante en el área donde se encuentran localizados estos suelos.

Capacidad de intercambio de cationes de la fracción limo

En el cuadro 44 se observa, la capacidad de cambio de cationes de la fracción limo, determinada en NH4OAc pH7,0 de los datos se deduce que es muy baja, de manera que la contribución del limo a la capacidad de cambio del suelo no tiene mayor importancia en estos suelos.

Capacidad de intercambio de cationes de la fracción arcilla

La capacidad de intercambio de cationes determinada en la fracción arcilla, libre de materia orgánica, óxidos de hierro y aluminio libres, dan valores variables entre perfiles. Los valores más bajos se encontró en los horizontes del perfil de la serie Colorado y los más altos en el perfil CR-47, como podrá observarse en el cuadro 45.

Comparativamente, existen diferencias entre las capacidades del suelo y la arcilla, en algunos perfiles la capacidad es más alta para la arcilla y en otros muy baja: esta variación posiblemente se deba

al tipo de arcilla predominante en la fracción coloidal.

Es importante notar que en algunos horizontes A de los perfiles CR-55 y CR-47 las capacidades de cambio son altas a pesar de estar excentos de la contribución de la materia orgánica a la capacidad de cambio.

Fieldes et al (44) al referirse a la relación de los coloides hidratados de hierro y aluminio con alta capacidad de cambio de la arcilla sin materia orgánica, ni óxidos de hierro y aluminio, encontró valores casi similares a los del suelo. Esta situación se presenta en casi todos los suelos de estos cuatro perfiles; la explicación posible radica en el desbloqueo de las cargas negativas de la arcilla al ser extraídos el hierro y el aluminio y la consiguiente adsorción de NH4 (102) y por otra parte, según D'Hoore (35) el tratamiento químico puede ocasionar la ruptura de la arcilla y por consiguiente aumento de superficie de adsorción.

La tendencia actual en la determinación de la capacidad de cambio de cationes usando como solución extractora el cloruro de calcio a pH 7,0 en suelos con fracciones arcillosas amorfas, muestran valores inferiores a los obtenidos con acetato de amonio, tal es el caso que menciona Pineda (103), al referirse a la capacidad de cambio de los suelos derivados de cenizas volcánicas y específicamente a algunos latosoles, se obtuvo capacidades de cambio altas con acetato de amonio y bajas con cloruro de calcio.

En el trabajo de tesis de Pineda (103) indica que los suelos de la serie Paraíso o CR-32, tienen 18,5 me/100 gr de suelo en los hori-

zontes A y 15,5 me/100 gr de suelo en los B; de acuerdo con estos datos se puede deducir que los valores son más reales y se aproximan a los requerimientos de los latosoles. En este sentido es necesario pensar que queda mucho por investigar en ese campo complejo de la capacidad de intercambio de cationes, principalmente cuando se trabaja con suelos derivados de materiales volcánicos.

Aluminio extraible

En el cuadro 47, los datos muestran que hay una amplia variación de me de aluminio extraible por 100 gr de suelo en todos los perfiles de la zona atlántica.

Los valores más altos corresponden al perfil CR-47 y los más bajos al CR-55.

Estos datos posiblemente sean más altos que los extraídos con ClK 1N, aunque B humbla y Mac Lean (6) mencionan que cuando los lavados son prolongados con acetato de amonio, las diferencias son reducidas.

Aparentemente, no se observa influencia del sitio en los camtios de aluminio extraible. Con la profundidad se nota disminución en casi todos los perfiles.

El alto contenido de aluminio extraible registrado en el perfil CR-47, concuerda con los pH extremadamente ácidos de dicho perfil.

El aluminio extraible determinado con acetato de amonio pH 4,8 incluye algunos polimeros, fuera de aluminio cambiable. Es error considerar al extraible como cambiable, ya que el aluminio cambiable es siempre menor, como se observa en el estudio de Pineda (103) al re-

ferirse a los suelos de la serie Paraíso (CR-32), donde obtuvo valores de 1,4 me/100 gr de suelo para los horizontes A y 2,0 me/100 gr de suelo para los B, contrastando con los valores de 11,8 a 7,2 me/100 gr de suelo para los A y de 7,4 a 6,0 me/100 gr de suelo para los B, de aluminio extraible obtenidos en el presente trabajo. Es posible suponer que el aluminio cambiable en estos suelos sea muy bajo, excepto quizá en el CR-47.

Análisis elemental

Los cuadros 48, 49, y 50 muestran los resultados obtenidos para los óxidos totales de silicio, aluminio y hierro expresados en porcentaje.

En la parte referente a los perfiles de la zona Atlántica se observa que el contenido de SiO_2 varía de 40,3 a 32,3% en los horizontes A y de 39,1 a 28,5% en los B . El contenido de este óxido es relativamente alto, posiblemente por la contribución que hace la fracción arcilla. En algunos horizontes se nota una relativa disminución con el aumento de elevación; con la profundidad disminuye gradualmente en casi todos los perfiles, lo que demuestra lavado de silice con la consiguiente acumulación de los óxidos de hierro y aluminio.

El porcentaje de óxidos de aluminio totales muestran valores relativamente altos. Al observar el cuadro 49, se puede notar el aumento con la altura. Con la profundidad el aumento es gradual en algunos perfiles.

Los valores de óxidos de hierro totales varían de 14,5 a 11,5% en

los horizontes A y de 15,9 a 12,1% en los B. En la mayoría de los horizontes disminuye con el aumento de elevación. Con la profundidad los cambios son graduales con tendencia a aumentar, principalmente en los horizontes B3 de algunos perfiles.

Kretschmer (73) en el estudio de R2O3 para la serie Paraíso encontró valores ligeramente bajos a los registrados en el presente trabajo.

La relación molecular de SiO2/Al2O3 (cuadro 51) varía de 3,2 a 1,6 para los horizontes A y de 3 a 1,5 en los B; esta relación disminuye con la altura; así en los perfiles Colorado y CR-32 la relación es menor a 2,1 en los horizontes A y menor a 2,0 en los B. En cambio en los perfiles CR-55 y CR-47 por encontrarse a menor altura que los dos anteriores tienen relación de 3,2 a 2,6 en los horizontes A y de 3,1 a 2,2 en los B, es decir son más altas.

En el cuadro 52, las relaciones de SiO2/R2O3 muestran valores ligeramente superiores a 2,0 en los horizontes A de los perfiles CR-55 y CR-47. En todos los horizontes de los perfiles Colorado y CR-32 las relaciones son menores a 1,9; excepto en B3 de CR-55 donde es ligeramente superior a 2,0. Aparentemente la relación disminuye con la altura.

La relación de Al2O3/Fe2O3 (cuadro 53) muestra variaciones con el aumento de elevación, en los horizontes de los cuatro perfiles las relaciones son ligeramente superiores a 3,0.

Existe en la actualidad en seguir manteniendo como criterios de índices de meteorización las tres relaciones anteriormente descri - tas.

Muchos investigadores (2, 5, 119) utilizan estas relaciones, con el objeto de diferenciar los suelos altamentemeteorizados de los que no son.

La relación SiO_2/Al_2O_3 denominada "Ki" es la más usual para la definición de los suelos altamente meteorizados como son los latosoles, Kellog (69) y otros (23, 119, 129) usan con este propósito la relación menor a 2.

En la tentativa de clasificación de latosoles, menciona Som - broek (129) una escala que va desde menos de 1 a 2,0; con este mismo propósito usa la relación Al_2O_3/Fe_2O_3 y establece la escala de menos 1,7; de 2,0 a 4,5 y más de 4,5.

Si se toma en cuenta las relaciones mencionadas, y de acuerdo con los datos, se pueden definir a los suelos de los cuatro perfiles como alta y medianamente meteorizados.

CUADRO 25.- Color en Húmedo

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	7,5YR3/2	10YR4/3	10YR3/3	10YR3/2	10YR3/3	10YR3/3	10YR3/4	10YR3/4
A12	--------	10YR4/3	10YR3/4	----	----	10YR4/4	7,5YR4/4	----
A3	5YR3/4	10YR4/4	7,5YR3/2	10YR3/4	7,5YR4/4	5YR4/8	5YR4/4	5YR3/4
B1	5YR4/6	----	---	----	5YR4/4	----	5YR4/6	5YR4/3
B21	5YR4/6	----	7,5YR4/2	7,5YR4/4	5YR4/6	5YR4/6	2,5YR4/6	5YR4/6
B22	5YR4/4	----	7,5YR4/4	10YR4/3	10YR5/4	2,5YR4/6	2,5YR4/6	5YR4/6
B2	----	7,5YR4/4	----	----	----	----	----	----
B3	5YR4/6	10YR5/4	5YR3/3	10YR4/4	10YR5/6	5YR5/6	2,5YR3/6	5YR3/4

CUADRO 26.- Color en seco

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	5YR4/2	10YR4/4	7,5YR3/2	10YR4/2	10YR4/3	10YR5/3	10YR4/3	7,5YR5/4
A12	----	10YR4/4	10YR3/4	----	----	10YR6/6	7,5YR5/6	----
A3	5YR4/4	10YR4/3	5YR3/3	7,5YR4/4	7,5YR5/4	7,5YR6/6	7,5YR6/6	7,5YR4/4
B1	5YR5/6	----	----	----	5YR5/6	---	5YR7/6	5YR4/6
B21	5YR5/4	-----	7,5YR4/4	5YR4/4	5YR6/6	2,5YR6/8	5YR6/6	5YR5/4
B22	5YR5/4	----	7,5YR5/4	10YR3/4	5YR7/6	2,5YR6/8	2,5YR6/6	5YR5/4
B2	----	7,5YR5/4	----	----	----	----	----	----
B3	5YR5/4	10YR6/4	10YR5/6	10YR3/4	7,5YR7/6	5YR6/8	2,5YR5/6	5YR5/3

CUADRO 27.- Densidad aparente gr./cc. (Promedio de rangos)

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	1,07	0,87	0,86	0,96	0,98	1,09	0,95	0,80
A12	---	0,88	0,88	---	---	1,11	0,99	---
A3	1,01	0,92	0,89	0,86	1,13	1,09	1,04	0,85
B1	1,06	---	---	---	1,11	---	1,04	0,95
B21	1,10	---	0,84	0,86	1,17	1,08	1,22	1,04
B22	1,11	---	0,88	0,91	1,20	1,10	1,43	1,03
B2	---	0,93	---	---	---	---	---	---
B3	1,11	1,10	0,88	0,92	1,20	1,15	1,29	1,01

CUADRO 28.- Densidad de partículas (gr./cc.)

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	2,58	2,58	2,52	2,42	2,54	2,55	2,47	2,45
A12	---	2,59	2,65	---	---	2,61	2,52	---
A3	2,66	2,62	2,69	2,60	2,60	2,63	2,59	2,57
B1	2,68	---	---	---	2,65	---	2,62	2,67
B21	2,69	---	2,70	2,65	2,66	2,66	2,63	2,73
B22	2,70	---	2,71	2,67	2,70	2,66	2,65	2,73
B2	---	2,65	---	---	---	---	---	---
B3	2,70	2,65	2,72	2,67	2,72	2,67	2,67	2,74

CUADRO 29.- Porcentaje de porosidad

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	58,8	66,1	66,0	59,6	61,1	57,1	61,2	66,8
A12	---	65,7	67,0	---	---	57,1	60,2	---
A3	61,7	64,7	64,7	66,0	56,5	58,2	59,2	67,1
B1	60,3	---	---	---	57,9	---	58,0	63,5
B21	58,9	---	68,6	65,9	55,5	59,2	53,2	62,0
B22	58,7	---	71,2	65,9	55,0	58,0	51,0	62,0
B2	---	65,9	---	---	---	---	---	---
B3	58,6	58,7	67,1	65,4	55,3	56,7	51,5	62,9

CUADRO 30.- Porcentaje de retención de humedad en saturado

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	98,5	103,4	103,3	94,7	97,7	83,7	89,6	113,8
A12	---	81,8	95,0	---	---	71,0	76,1	---
A3	83,1	81,9	88,7	97,3	76,3	77,0	77,1	91,3
B1	84,7	---	---	---	78,6	---	73,4	80,6
B21	90,2	---	88,0	98,5	78,5	80,7	68,7	83,3
B22	87,4	---	98,3	103,6	79,4	80,5	68,5	82,4
B2	---	76,9	---	---	---	---	---	---
B3	87,2	81,2	86,2	105,2	75,5	78,1	68,0	88,5

CUADRO 31.- Porcentaje de retención de humedad (1 bar)

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	38,7	41,5	42,0	38,7	38,2	35,3	41,3	50,6
A12	---	38,2	39,6	---	---	33,7	35,9	---
A3	37,4	38,9	40,3	42,4	35,4	37,1	37,4	45,2
B1	41,1	---	---	---	36,2	---	36,8	40,5
B21	42,7	---	42,2	45,6	37,4	39,5	35,4	43,4
B22	43,2	---	45,1	44,6	38,2	37,7	34,4	43,4
B2	---	40,9	---	---	---	---	---	---
B3	43,3	42,9	44,1	43,9	35,8	37,1	34,8	45,9

CUADRO 32.- Porcentaje de retención de humedad (15 bares)

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	28,3	32,4	32,2	28,7	28,2	27,3	33,1	36,5
A12	---	30,7	30,5	---	---	28,6	30,6	---
A3	30,2	31,6	30,5	34,5	28,1	30,4	31,6	35,5
B1	33,0	---	---	---	30,1	---	32,6	33,3
B21	36,6	---	34,4	32,4	30,6	33,0	31,0	35,5
B22	35,6	---	37,3	37,5	29,3	32,4	29,0	35,6
B2	---	33,5	---	---	---	---	---	---
B3	36,7	33,2	36,1	34,0	30,3	31,0	26,6	36,3

CUADRO 33.- Porcentaje de la fracción arcilla (análisis mecánico)

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	77,0	64,0	74,0	77,5	70,2	82,5	71,5	64,0
A12	---	77,0	80,0	---	---	88,0	80,5	---
A3	83,5	69,5	76,0	77,0	81,0	85,0	81,0	78,2
B1	92,0	---	---	---	78,0	---	81,0	79,0
B21	92,3	---	83,5	72,2	72,5	81,5	76,2	78,5
B22	92,0	---	87,5	82,5	69,0	89,5	78,0	83,0
B2	---	76,2	---	---	---	---	---	---
B3	91,0	57,5	74,2	92,0	67,5	74,0	69,5	78,3

CUADRO 34.- Porcentaje de la fracción limo (análisis mecánico)

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	10,0	19,0	10,0	14,7	8,8	8,0	5,5	15,0
A12	---	12,5	11,5	---	---	7,2	6,5	---
A3	13,5	16,7	15,0	21,0	10,5	5,5	4,5	11,8
B1	5,0	---	---	---	13,5	---	4,5	19,0
B21	6,0	---	9,0	23,3	18,5	7,5	10,0	18,5
B22	3,5	---	8,5	17,0	20,5	8,0	9,0	14,0
B2	---	14,8	---	---	---	---	---	---
B3	6,0	20,5	8,0	7,0	20,5	11,5	14,5	15,7

CUADRO 35.- Relación limo/arcilla

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	0,13	0,30	0,14	0,20	0,13	0,10	0,07	0,23
A12	---	0,16	0,14	---	---	0,08	0,08	---
A3	0,16	0,24	0,20	0,30	0,13	0,06	0,06	0,15
B1	0,05	---	---	---	0,17	---	0,06	0,24
B21	0,07	---	0,10	0,30	0,26	0,09	0,13	0,24
B22	0,04	---	0,10	0,20	0,30	0,09	0,12	0,17
B2	---	0,19	---	---	---	---	---	---
B3	0,06	0,35	0,10	0,10	0,30	0,16	0,20	0,20

CUADRO 36.- Porcentaje de arcilla dispersada en agua

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	18,0	8,6	13,8	20,6	19,7	18,2	1,3	0,63
A12	---	13,6	0,6	---	---	0,9	3,8	---
A3	3,3	0,2	0,7	1,2	6,4	0,07	0,04	1,9
B1	0,2	---	---	---	0,09	---	0,06	0,01
B21	0,1	---	0,7	0,07	0,13	0,07	0,19	0,01
B22	0,5	---	0,01	0,05	0,12	0,15	0,24	0,01
B2	---	0,27	---	---	---	---	---	---
B3	0,04	0,05	0,0	0,03	0,06	0,02	0,06	0,02

CUADRO 37.- pH determinado en agua (1:1)

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	5,3	5,3	5,0	5,2	4,9	5,2	5,2	5,3
A12	---	5,4	5,5	---	---	5,6	5,2	---
A3	5,6	5,5	5,5	5,3	5,2	6,0	5,4	5,3
B1	5,7	---	---	---	5,5	---	5,7	5,4
B21	5,5	---	5,9	5,5	5,6	6,6	5,7	5,9
B22	5,6	---	5,9	5,6	5,7	6,4	6,0	6,0
B2	---	5,5	---	---	---	---	---	---
B3	5,1	5,4	5,7	5,8	5,8	6,1	5,7	6,2

CUADRO 38.- pH determinado en CaCl2 (1:2)

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	4,8	4,7	4,5	4,5	4,2	4,4	4,6	4,7
A12	---	4,3	4,9	---	---	4,6	4,5	---
A3	4,9	4,2	5,2	4,8	4,3	4,8	4,6	4,7
B1	5,0	---	---	---	4,3	---	5,3	4,6
B21	4,5	---	5,4	5,0	4,4	4,9	5,5	4,8
B22	4,6	---	5,4	5,1	4,4	4,9	5,4	4,8
B2	---	4,3	---	---	---	---	---	---
B3	4,4	4,2	5,1	5,1	4,4	4,8	5,3	4,8

CUADRO 39.- Porcentaje de materia orgánica

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	9,4	10,8	8,0	8,9	9,1	8,2	14,6	14,5
A12	---	3,7	3,7	---	---	3,8	5,5	---
A3	3,4	2,8	2,7	2,9	4,4	2,8	3,1	7,8
B1	2,5	---	---	---	2,1	---	1,4	1,9
B21	1,6	---	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1	1,8
B22	1,3	---	1,0	0,7	1,4	0,7	0,7	0,9
B2	---	1,3	---	---	---	---	---	---
B3	0,8	0,8	0,7	0,5	0,6	0,6	0,5	0,7

CUADRO 40.- Porcentaje de nitrógeno total

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	0,50	0,59	0,46	0,35	0,30	0,25	0,51	0,56
A12	---	0,25	0,20	---	---	0,12	0,21	---
A3	0,18	0,20	0,16	0,14	0,15	0,09	0,10	0,33
B1	0,14	---	---	---	0,08	---	0,05	0,12
B21	0,10	---	0,11	0,10	0,06	0,05	0,03	0,12
B22	0,08	---	0,06	0,05	0,05	0,03	0,03	0,08
B2	---	0,12	---	---	---	---	---	---
B3	0,07	0,06	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,07

CUADRO 41.- Relación carbón/nitrógeno (C/N)

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	10,9	10,5	10,1	14,7	17,7	18,9	16,5	18,1
A12	---	8,8	10,6	---	---	18,2	15,0	---
A3	10,8	8,5	9,6	12,1	16,9	17,8	18,2	13,9
B1	10,4	---	---	---	15,0	---	16,4	9,0
B21	9,4	---	9,3	9,2	13,7	15,0	20,3	12,9
B22	9,5	---	9,2	7,8	16,2	13,3	14,3	6,1
B2	---	5,9	---	---	---	---	---	---
B3	6,6	7,5	10,0	7,1	7,3	17,0	15,0	5,4

CUADRO 42.- Porcentaje de óxidos de hierro libre (Fe_2O_3)

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	5,7	6,3	8,2	7,7	7,9	5,6	5,3	7,6
A12	---	5,8	8,0	---	---	6,7	5,4	---
A3	5,6	6,7	8,6	9,4	7,7	6,4	5,6	8,5
B1	7,1	---	---	---	8,9	---	7,7	11,0
B21	7,3	---	8,7	9,9	9,1	8,0	8,6	10,9
B22	7,4	---	9,5	9,7	9,2	9,0	9,3	11,2
B2	---	6,4	---	---	---	---	---	---
B3	7,8	6,2	10,1	9,7	10,0	9,8	9,7	11,3

CUADRO 43.- Capacidad de intercambio de cationes del suelo (me /100 gr)

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	25,5	39,0	31,4	36,0	24,0	17,9	29,5	33,0
A12	---	34,6	26,0	---	---	12,9	14,9	---
A3	24,2	34,4	24,4	30,8	19,8	15,1	11,3	23,6
B1	28,3	---	---	---	21,2	---	12,0	20,9
B21	28,4	---	26,7	32,0	21,4	18,1	11,9	21,7
B22	27,0	---	29,1	29,4	22,6	20,4	10,9	23,5
B2	---	39,9	---	---	---	---	---	---
B3	26,7	38,2	27,1	30,2	23,8	16,5	13,3	23,1

CUADRO 44.- Capacidad de intercambio de cationes de la fracción limo (me/100 gr)

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	6,8	18,9	12,0	9,1	7,6	3,0	10,6	0,3
A12	---	19,7	9,1	---	---	2,3	2,3	---
A3	4,5	15,8	14,3	12,1	7,6	4,2	2,6	0,1
B1	7,2	---	---	---	8,3	---	2,3	0,1
B21	8,7	---	12,1	7,6	11,3	2,3	4,2	0,1
B22	7,6	---	7,6	7,6	15,1	3,0	2,3	0,2
B2	---	19,6	---	---	---	---	---	---
B3	4,5	24,9	9,8	9,1	11,3	7,6	1,5	0,1

CUADRO 45.- Capacidad de intercambio de cationes de la fracción arcilla (me/100 gr)

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	27,9	43,3	19,4	24,6	26,1	33,4	21,5	19,3
A12	---	44,8	13,5	---	---	19,4	28,4	---
A3	26,3	44,9	12,8	31,9	31,9	28,9	24,9	20,6
B1	23,5	---	---	---	31,9	---	12,5	18,1
B21	27,8	---	27,6	33,9	34,6	28,6	9,8	15,6
B22	28,1	---	51,8	34,4	54,6	30,4	12,4	17,7
B2	---	43,1	---	---	---	---	---	---
B3	25,7	20,9	20,6	23,1	52,7	36,9	13,1	17,1

CUADRO 46.- Porcentaje de saturación de bases

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	20,9	23,6	10,4	7,2	3,3	2,6	9,1	6,0
A12	---	8,0	12,6	---	---	1,8	4,0	---
A3	15,5	4,7	13,6	10,0	1,6	1,5	4,4	5,0
B1	13,2	---	---	---	1,1	---	2,5	3,8
B21	9,3	---	12,1	9,0	0,9	1,0	1,8	3,2
B22	5,3	---	15,2	10,4	0,8	0,9	1,3	1,4
B2	---	2,5	---	---	---	---	---	---
B3	4,2	2,0	8,2	9,9	0,7	0,9	1,5	1,7

CUADRO 47.- Aluminio extraible (me/100 gr. de suelo)

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	3,2	11,6	8,8	11,8	16,5	11,2	14,3	23,3
A12	---	22,7	8,9	---	---	8,2	12,2	---
A3	2,2	20,7	8,0	7,2	16,0	6,5	6,3	25,7
B1	1,8	---	---	---	13,1	---	3,6	13,6
B21	2,8	---	7,0	7,4	13,0	5,3	2,3	7,4
B22	4,1	---	5,3	6,0	13,6	4,2	2,4	7,4
B2	---	20,9	---	---	---	---	---	---
B3	5,9	20,0	4,3	6,1	12,9	5,3	2,8	6,7

CUADRO 48.- Porcentaje de óxido de silicio total (SiO_2)

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	40,0	37,7	35,1	34,2	35,9	27,2	16,9	22,2
A12	---	40,6	32,3	---	---	29,3	14,8	---
A3	39,2	40,3	32,3	35,5	37,4	28,9	15,0	28,6
B1	38,6	---	---	---	37,4	---	14,6	30,2
B21	37,7	---	32,1	35,9	37,4	27,6	4,5	20,5
B22	37,7	---	32,3	36,3	39,1	26,7	5,8	27,0
B2	---	39,1	---	---	---	---	---	---
B3	37,3	38,5	28,5	35,9	36,2	23,1	5,8	31,2

CUADRO 49.- Porcentaje de óxido de aluminio total (Al_2O_3)

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	21,2	22,8	28,7	37,1	27,1	32,0	19,9	24,6
A12	---	25,0	28,2	---	---	24,7	19,8	---
A3	23,4	26,6	30,2	28,4	28,5	17,0	21,1	23,7
B1	21,2	---	---	---	28,0	---	20,5	24,5
B21	29,3	---	31,3	32,3	28,1	18,3	19,2	27,3
B22	26,2	---	30,4	31,2	27,6	18,3	18,8	27,3
B2	---	29,2	---	---	---	---	---	---
B3	20,4	28,6	32,6	32,8	27,7	19,6	33,8	28,6

CUADRO 50.- Porcentaje de óxidos de hierro total (Fe_2O_3)

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	13,5	13,9	12,5	11,5	11,8	11,1	12,4	14,6
A12	---	13,7	13,7	---	---	11,2	13,2	---
A3	14,0	13,1	13,7	11,7	12,1	11,7	13,2	15,6
B1	13,3	---	---	---	12,1	---	14,0	16,6
B21	13,0	---	13,0	12,1	12,2	11,7	14,8	16,5
B22	13,3	---	14,2	12,7	12,1	12,0	14,8	16,5
B2	---	14,5	---	---	---	---	---	---
B3	13,3	14,0	15,9	12,7	12,1	13,8	15,4	16,2

CUADRO 51.- Relación molecular SiO_2/Al_2O_3

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	3,2	2,8	2,1	1,6	2,3	1,4	1,4	1,5
A12	---	2,8	1,9	---	---	2,0	1,3	---
A3	2,8	2,6	1,8	2,1	2,2	2,9	1,2	2,0
B1	3,0	---	---	---	2,3	---	1,2	2,0
B21	2,2	---	1,7	1,9	2,3	2,6	0,4	1,3
B22	2,4	---	1,8	2,0	2,4	2,5	0,4	1,7
B2	---	2,3	---	---	---	---	---	---
B3	3,1	2,3	1,5	1,9	2,2	2,0	0,3	1,9

CUADRO 52.- Relación molecular SiO_2/R_2O_3

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	2,3	2,0	1,6	1,3	1,8	1,2	1,0	1,1
A12	---	2,0	1,5	---	---	1,6	0,9	---
A3	2,0	2,0	1,4	1,7	1,8	2,0	0,9	1,4
B1	2,2	---	---	---	1,8	---	0,8	1,5
B21	1,7	---	1,4	1,5	1,8	1,8	0,3	0,9
B22	1,9	---	1,4	1,6	1,9	1,8	0,3	1,2
B2	---	1,7	---	---	---	---	---	---
B3	2,2	1,7	1,1	1,5	1,7	1,4	0,2	1,4

CUADRO 53.- Relación molecular Al_2O_3/Fe_2O_3

Horizonte	Perfiles							
	Atlántico				Pacífico			
	(CR-55)	(CR-47)	Colorado	(CR-32)	(CR-46)	(CR-12)	(CR-17)	(CR-20)
A1(A11)	2,4	2,5	3,6	5,0	3,6	4,5	2,5	2,6
A12	---	2,8	3,2	---	---	3,4	2,3	---
A3	2,6	3,2	3,4	3,8	3,7	2,2	2,5	2,4
B1	2,4	---	---	---	3,6	---	2,2	2,3
B21	3,5	---	3,7	4,2	3,6	2,4	2,0	2,6
B22	3,0	---	3,3	3,8	3,6	2,3	2,0	2,6
B2	---	3,1	---	---	---	---	---	---
B3	2,4	3,2	3,2	4,0	3,6	2,2	3,4	2,8

5.2 Perfiles de la zona Pacífica

En una longitud aproximada de 80 Mk siguiendo la carretera Interamericana, desde 2 Km antes de llegar a la población de San Isidro del General hasta la localidad de Térraba, y entre las alturas de 400 a 900 m.s.n.m., se encuentran distribuídos los cuatro perfiles estudiados en la vertiente del Pacífico.

De acuerdo con la secuencia en elevación, los perfiles se sitúan de la siguiente manera: CR-46 a 400 m, CR-12 a 500, CR-17 a 750 y CR-20 a 900 m.s.n.m.

La fisiografía en general donde están localizados los cuatro perfiles corresponde a un valle de tipo tropical, con recursos hídricos muy abundantes, cuyas principales fuentes son el Pacuar, el General y el río Grande de Térraba, fuentes fluviales que han contribuído con el transporte del material de origen de estos suelos. En el estudio geológico realizado por Dóndoli (38) y Roberts e Irving (109) mencionan que los sedimentos que forman la cordillera de la costa y que aparecen descubiertos en el valle del Pacuar, pasan debajo de El General, arrimándose a la cordillera de Talamanca, la cual a su vez, se originó de una potente intrusión diorítica, acompañada de efusiones de tipo basalto-andesíticas. Durante la última fase de emersión (la presente) los ríos de la vertiente Pacífica del valle de El General han cubierto este valle de depósitos aluvionales, los cuales se extienden sobre la enorme llanura hasta más allá de Buenos Aires de Osa.

Después de una interrupción, un levantamiento sucesivo acompañado de un aumento de la actividad de los ríos, han hecho que estos vol-

vieran a cortar sus anteriores depósitos aluvionales creando con ellos una amplia terraza con la formación de los actuales playones. La formación aluvional abarca todo el valle de El General hasta las sabanas de Buenos Aires de Osa, estos materiales que conforman este aluvión resultan en su mayoría de origen volcánico, particularmente dioríticos y andesíticos basálticos; en la actualidad los componentes del aluvión no afloran en la superficie, sino que se encuentran a varios metros de profundidad (38).

El relieve es ondulado predominantemente, con ligera tendencia a plano, las pendientes varían de 3 a 13%, el clima como se dijo anteriormente es tropical húmedo, con períodos húmedos y secos (27), Tosi (136) clasifica ésta como zona de vida para bosque húmedo tropical con transición a bosque seco tropical.

Las características morfológicas, físicas y químicas de los cuatro perfiles de esta zona son discutidas y comparadas con los perfiles de la zona Atlántica.

5.2.1 Características morfológicas

Profundidad y espesor de los horizontes.

La profundidad del solum en la mayoría de los perfiles es mayor de 150 cm. El espesor y la disposición de los horizontes presentan ciertas variaciones, como puede observarse en la fig. 1. Los horizontes A1 ó A11 tienen espesores de 12 a 7 cm, los A12 de 14 a 17 cm, los A3 de 18 a 10 cm.. En los horizontes B también existen variaciones; así, de 38 a 15 cm en los B1, de 41 a 25 cm en los B21, de 25 a 45 cm en los B22 y de 45 ó más cm en los B3.

Los horizontes A en general tienen menor espesor en relación con los del Atlántico, los perfiles localizados entre las alturas de 400 a 780 m.s.n.m. muestran la misma subdivisión de los horizontes A en ambas zonas.

Los horizontes B, tienen más subdivisiones, y el espesor individual de los horizontes en la mayoría de los casos es menor en relación con los del Atlántico.

Color en húmedo y seco (cuadros 25 y 26)

El color es variable con la profundidad, con una tendencia a tomar el matiz rojo, principalmente en los horizontes B. Esta variabilidad es gradual desde el pardo oscuro a pardo amarillento rojizo y rojo tanto en húmedo como en seco. Jaramillo (66) también encontró esta variación gradual entre los suelos y subsuelos.

El "value" y el "chroma" muestran cifras relativamente altas con el aumento de profundidad tanto en húmedo como en seco, esta condición está íntimamente asociada con el contenido alto de óxidos de hierro libre, y con la disminución de la materia orgánica.

Estructura

El tipo bloque subangular, de tamaño mediano y grado moderado es característico en casi todos los perfiles y difiere de los suelos de la zona Atlántica, por presentar en parte una microestructura granular y bloque subangular muy fina.

Dóndoli (36), al referirse a estos suelos, dice que son sueltos en la parte superficial, condición que concuerda con la estructura granular de algunos horizontes A1 o A11.

Consistencia

En los cuatro perfiles la consistencia muestra pequeñas variaciones, de ligeramente adherente a adherente y de ligeramente plástica a plástica en mojado, de firme a friable en húmedo y predomina la consistencia dura en seco. Estas características son comparables con las del Atlántico, posiblemente debido al contenido alto de arcilla en los suelos de ambas zonas y por el alto contenido de óxido de silicio.

Revestimientos de arcilla (clay skins)

Se verificó con observaciones de campo la existencia de revestimientos de arcilla en los "peds". Estos revestimientos de arcilla fueron generalmente delgados y continuos, en algunos poco evidentes. También en algunos perfiles de la zona Atlántica es característico este tipo de revestimientos.

Límite de horizontes

Los límites inferiores son claros y ondulados en casi todos los horizontes A y varían de graduales a difusos aunque siempre ondulados en los horizontes B. Como podrá observarse en la descripción de los perfiles del Atlántico éstos también presentan las mismas características.

La transición gradual o difusa que presentan los horizontes B de los perfiles de ambas zonas, concuerdan con la morfología de los suelos altamente meteorizados (latosoles) (4, 5, 69).

5.2.2 Características físicas

Densidad aparente (cuadro 27)

En algunos horizontes A de los cuatro perfiles, la densidad aparente es inferior a 0,98 gr/cc. De una manera general en los horizontes A y B la densidad aparente es ligeramente superior a 1,01 gr/cc. La disminución que se opera con el aumento de elevación también se observa en los suelos del Atlántico, pero no es muy manifiesto.

El aumento gradual con la profundidad es general en todos los perfiles; este aumento posiblemente tenga íntima relación con la disminución de materia orgánica y el aumento de la fracción arcilla, debido a la alta meteorización de estos suelos y el proceso pedogenético avanzado de los horizontes B.

Comparativamente, los suelos de esta zona presentan valores superiores a los del Atlántico; esto posiblemente se debe a diferencias en grado de desarrollo y material parental. Los suelos del Atlántico son derivados de cenizas volcánicas y los del Pacífico de sedimentos aluviales. Los suelos del Atlántico parecen ser menos meteorizados lo cual se deja ver en el contenido de hierro, arcilla, potasio total, etc.

Densidad de partículas

Los datos del cuadro 28 muestran valores de 2,45 a 2,63 gr/cc para las densidades de los horizontes A y de 2,62 a 2,73 para los B. Estos datos se muestran muy similares a los suelos del Atlántico.

En estos cuatro perfiles se observa un aumento de la densidad

con profundidad; este aumento coincide con el incremento del contenido de hierro libre y total, principalmente en los horizontes B.

Porcentaje de porosidad (cuadro 29)

Los porcentajes de porosidad en los perfiles CR-46, CR-17 y CR-20, muestran valores ligeramente superiores a 60% en algunos horizontes A y todos los B del perfil CR-20. En los demás horizontes A y B de cuatro perfiles dan valores generalmente debajo de 59,2%.

La disminución con la profundidad es muy gradual. Con el aumento de elevación en los horizontes A hay una tendencia a aumentar, en los B la tendencia no es definida, a pesar de encontrarse los valores más altos a la altura de 900 m.s.n.m.

Los porcentajes altos de porosidad guardan relación con los valores bajos de la densidad aparente; esto puede verificarse al observar los datos del cuadro 27. Comparativamente, los porcentajes de porosidad son más bajos para las muestras del Atlántico.

Retención de humedad (cuadros 30, 31 y 32)

La retención de humedad es variable entre 71,0 a 113,8% en los horizontes A y de 73,4 a 88,5% en los B en estado saturado. De 33,7 a 50,6% en los A y de 34,8 a 45,9 en los B a la tensión de 1 bar y de 27,3 a 36,5% en los A y de 29,0 a 36,3% en los B a la tensión de 15 bares.

Los porcentajes de retención en la mayoría de los casos es inferior a los registrados para los suelos del Atlántico.

Las retenciones bajas concuerdan con los datos de densidad aparente altas y porcentajes bajos de porosidad y en algunos casos con los

porcentajes menores de la fracción arcilla. También es posible notar que existe alguna relación con el contenido alto de hierro libre.

La influencia de la materia orgánica en los horizontes A1 o A11 da marcado aumento en el porcentaje de retención.

El porcentaje de humedad volumétrica y de agua disponible tiende de baja a mediana.

Comparando los valores obtenidos para la zona del Pacífico con los del Atlántico, se ve que éstos últimos tienen porcentajes más altos, por las relaciones antes mencionadas.

Textura

De acuerdo con el porcentaje de la fracción arcilla (cuadro 33) existente en todos los horizontes, la textura es arcillosa para los cuatro perfiles. Esta característica concuerda con el estudio realizado por Jaramillo (67), para estos suelos.

Las fracciones limo y arena ocupan porcentajes muy bajos dentro del contenido total de las tres fracciones. La fracción limo tiene tendencia a aumentar con la profundidad. Los porcentajes altos de arena de los horizontes A1 ó A11 que caracteriza a estos suelos, concuerda con uno de los criterios de Aubert (2) para definir los suelos latosólicos.

Según Robinson (111) el grado de meteorización se refleja en el carácter de las diferentes fracciones que se reconocen en el análisis mecánico, este enunciado conduce a definir a estos suelos como altamente meteorizados.

La relación limo/arcilla (cuadro 35) como índice de meteorización muestra valores por debajo del índice propuesto por van Wambeke (146) para suelos altamente meteorizados, como son los latosoles.

La relación textural entre los horibontes B/A, excepto B3, expresada en base al contenido de arcilla nos muestra valores entre 1,4 y 0,7 para los cuatro perfiles, valores que son menores a 1,8 propuesto por Bennema et al (5) para los latosoles del Brasil.

Arcilla dispersada en agua

Los datos del cuadro 36 en la parte referida a los suelos de la zona del Pacífico, muestran valores que varían entre 19,7 a 0,04% para los horizontes A y de 0,24 a 0,01 para los B. Estos porcentajes bajos que se registran para los horizontes B, posiblemente tienen relación con los contenidos de óxidos de hierro libres, que actúan como cementantes de las fracciones arcilla.

Dentro del concepto B latosol expuesto por Sombroek (129), incluye como criterio el contenido de arcilla dispersada en agua. Para tal fin dio el valor de 1% para los horizontes B2. En este estudio los valores encontrados para los horizontes B21 y B22 son inferiores al índice propuesto y por lo tanto se ajustan a la definición de los B latosoles.

Monnier (92) relaciona la alta estabilidad estructural de los suelos ferralíticos con la baja dispersión de la arcilla en agua y en alcohol; en base a este enunciado se puede decir que los porcentajes bajos de arcilla dispersable en agua encontrados en el presente estudio pueden tener su relación con la estabilidad estructural de estos suelos.

5.2.3 Características químicas

Reacción (pH) (cuadros 37 y 38)

El pH determinado en agua es fuertemente ácido (pH 5,2-5,6) en los horizontes A, con algunas variaciones a muy fuertemente ácidos (pH 4,9) y medianamente ácidos (pH 6,0) en algunos horizontes A. Fuertemente ácidos (pH 5,4-5,5) a medianamente ácidos (pH 5,6-6,4) y a casi neutro (pH 6,6) en los horizontes B.

La reacción en cloruro de calcio varía de extremadamente ácido (pH 4,2-4,4) a muy fuertemente ácido (pH 4,5-4,8) en los horizontes A y de extremadamente ácidos (pH 4,3) a muy fuertemente ácidos (pH 4,6-4,9) y fuertemente ácidos (pH 5,3-5,5) en los horizontes B.

Con la profundidad la acidez disminuye en ambas determinaciones. Con el aumento de elevación, el pH no muestra una tendencia definida.

La acidez de estos suelos es reflejo del alto contenido de aluminio cambiable y la muy baja saturación de bases, ambas características relacionadas con la alta meteorización y la precipitación abundante en un período determinado del año.

Las comparaciones con los datos obtenidos para los suelos de la zona Atlántica y Pacífica, en el cuadro 37 nos muestra condiciones similares de acidez en los horizontes A de los perfiles de ambas zonas, y menos ácidos con tendencia a casi neutras en la mayoría de los horizontes B de los perfiles del Pacífico.

Materia orgánica (cuadro 39)

El contenido de materia orgánica en los cuatro perfiles que co -

rresponde a esta zona, es relativamente alta en los horizontes A y de bajos a muy bajos en los B.

Según manifiesta Robinson (111), la distribución de la materia orgánica por debajo de la capa superficial es casi paralela al desarrollo de raíces, característica que se observa a través del perfil; donde es notoria la disminución gradual con la profundidad. Este mismo autor (111) menciona que en suelos con buen drenaje, la materia orgánica disminuye gradualmente desde la superficie hacia abajo, aspecto que también presentan estos suelos e inclusive los pertenecientes a la zona Atlántica.

Con el aumento de elevación, el incremento es claro, principalmente entre las altura de 500 a 900 m.s.n.m., excepto en el perfil localizado a 400 metros de altura que difiere ligeramente en su contenido, quizá por algún factor asociado con la topografía casi plana, condición similar que presenta el CR-55 de la zona Atlántica.

El alto contenido de materia orgánica de los horizontes A1 o A11, está asociado con algunas características, como el color pardo, la capacidad de cambio más alta, la retención de humedad en mayor porcentaje, mayor dispersión en agua de la fracción arcilla y la saturación de bases ligeramente más alta que los demás horizontes.

Otros estudios (62, 66) mencionan el contenido de materia orgánica, pero con valores relativamente más bajos que los encontrados en este trabajo.

Comparativamente, los horizontes A de los perfiles de la zona del

Pacífico muestran valores ligeramente más altos, que los horizontes A de los perfiles de la zona del Atlántico; los horizontes B en ambas zonas no muestran mayores variaciones.

Nitrógeno total

Los contenidos son ligeramente altos en los horizontes A1 o A11, y de medianos a bajos en los demás subhorizontes de A y muy bajos en los B, característica asociada al contenido de materia orgánica.

A semejanza de los suelos de la zona Atlántica, la disminución con la profundidad es muy notoria como puede observarse en los datos del cuadro 40. Esta disminución es muy marcada a partir de los 40 cm de profundidad aproximadamente.

Relación C/N (cuadro 41)

La relación C/N es relativamente alta en casi todos los horizontes y con tendencia a bajar en algunos horizontes de los perfiles CR-46 y CR-20.

No existe una tendencia definida con la profundidad, como se observa en los suelos de la zona Atlántica.

Oxidos de hierro libre

Los datos del cuadro 42 muestran los porcentajes de óxidos de hierro libres. De una manera general son relativamente altos en todos los perfiles. Con el aumento de elevación se incrementa el contenido, esta misma característica encontró Jaramillo (66) al estudiar estos suelos. Con la profundidad, el aumento es gradual, de esta manera concuerda con el matiz 5YR y 2,5YR de los horizontes B, y con el aumento muy definido del "value" y el "chroma".

Los porcentajes bajos registrados para los horizontes A1 o A11 de algunos perfiles pueden tener su explicación en lo encontrado por Gallego (49) en sentido de que en presencia de materia orgánica el hierro se moviliza con más facilidad, siempre que otros factores, como la presencia de coloides arcillosos no lo impidan. En la mayoría de los casos la relación hierro y materia orgánica es inversa.

Prebble y Stirk (105), sugieren que la presencia de óxidos de hierro libres, parecen restringir el grado de disponibilidad de agua. Esta observación es de alguna consecuencia para las áreas tropicales, donde los suelos latosólicos usualmente tienen alto contenido de óxidos de hierro libres. Sin embargo, esta restricción es claramente manifiesta en algunos perfiles de ambas áreas.

Capacidad de intercambio catiónico del suelo (cuadro 43)

De acuerdo con estos datos las capacidades de cambio tienden a ser altas si se consideran que son suelos altamente meteorizados.

Con el aumento de elevación guardan una relación cuadrática ya que los valores altos se encuentran en los dos extremos de elevación o sea los 400 y 900 m.s.n.m. de altura. Los valores más bajos se registran en las alturas de 500 a 750 m.s.n.m.

La saturación de bases (cuadro 46)

Porcentajes bajos, generalmente por debajo de 9,1% en los horizontes A y de 2,2% en los B. Al observar los datos del cuadro 32, los valores muestran tendencias a aumentar con la elevación y con la profundidad la disminución es gradual en todos los perfiles. Esta misma tendencia la encontró Jaramillo (66) para estos suelos.

El porcentaje de saturación de bases es más bajo que el de la zona Atlántica, índice de un desarrollo pedogenético más avanzado y mayor lixiviación.

Capacidad de intercambio determinado en la fracción limo (cuadro 44)

Capacidades muy variables en todos los perfiles, con una tendencia definida a disminuir con el aumento de elevación. Los valores 7,6 a 0,1 me/100 gr de los horizontes A y de 15,1 a 0,1 me/100 gr de limo de los horizontes B, no tienen mayormente importancia como contribuyentes a la capacidad total de cambio del suelo, por el contenido bajo de la fracción limo en estos suelos.

Capacidad de intercambio determinado en la fracción arcilla

El cuadro 45, en la parte referida a la capacidad de cambio de los perfiles del Pacífico, muestra valores variables de 19,4 a 31,9 me/100 gr de arcilla en los horizontes A y de 9,8 a 54,6 me/100 gr de arcilla en los horizontes B.

Con la profundidad, se puede ver que en los perfiles CR-46 y CR-12, hay cierta tendencia de ésta a aumentar y en los perfiles CR-17 y CR-20 a disminuir. En los horizontes B delos perfiles CR-17 y CR-20 se registran los valores más bajos.

Con el aumento de elevación hay una tendencia de ésta a disminuir en la mayoría de los horizontes de los cuatro perfiles.

Al comparar los datos de los cuadros 43 y 45, se observa que las capacidades en tres perfiles, excepto en CR-20 son menores en el sue-

lo. Los valores altos consignados para la fracción arcilla según Fiel des et al (44) se deben a la alta adsorción de NH_4 por la fracción ar cilla exenta de óxidos de hierro y aluminio.

Aluminio extraible

Los datos del cuadro 47, muestran valores de 11,2 a 25,7 me./ 100 gr de suelo para los horizontes A y de 2,3 a 13,6 me/100 gr de sue lo para los B; estos valores no concuerdan con los bajos valores encontrados por Jaramillo (66).

Su disminución con la profundidad es característica en estos sue los. La disminución en algunos perfiles es gradual y en otros es muy marcada.

Con el aumento de elevación no hay una tendencia definida, aunque en los horizontes A entre los 500 y 900 m.s.n.m. de altura muestra cierta tendencia a aumentar y en los B a disminuir entre las alturas de 300 a 750 m.s.n.m.

Amálisis elemental

Los cuadros 48, 49, 50 muestran los porcentajes para los óxidos totales de silicio, aluminio y hierro.

En los cuatro perfiles los porcentajes de SiO_2 varían de 37,4% a 14,8% en los horizontes A y de 39,1 a 4,5% en los B. Con valores muy bajos en el perfil CR-17.

Comparando con los perfiles de la zona Atlántica, se ve que los perfiles de la zona del Pacífico tienen valores más bajos, excepto en el perfil CR-46.

No es clara la tendencia con la profundidad. Con el aumento de elevación hay una marcada disminución entre las alturas de 300 a 750 m.s.n.m. para luego aumentar a los 900 m.s.n.m. de altura.

Los óxidos totales de aluminio, son también variables, no hay una tendencia definida con la profundidad.

El porcentaje de óxidos de hierro totales aumenta muy gradualmente con la profundidad. Con el aumento de elevación los incrementos son también graduales, principalmente en los horizontes B.

Es regla general en los latosoles los porcentajes altos de óxidos de aluminio y hierro, a veces llegan hasta el 30 y 40% respectivamente, como ocurre en los suelos latosólicos de Hawaii (31).

Los porcentajes de óxidos de aluminio totales son más bajos comparados con los perfiles de la zona Atlántica y los óxidos totales de hierro son ligeramente más altos.

La relación molecular de SiO_2/Al_2O_3 (cuadro 51) da valores de 2,9 a 1,3 en los horizontes A y de 2,6 a 0,3 en los B. En los perfiles CR-17 y CR-20 se encontró valores por debajo de 2,0 y en los otros por encima de 2,0.

Los valores para la relación SiO_2/R_2O_3 (cuadro 52) fueron de 1,8 a 0,9 para los horizontes A y de 1,8 a 0,2 para los B. Las relaciones bajas corresponden a los perfiles CR-17 y CR-20. Holdridge et al (62) encontró relaciones bajas para suelos próximos al perfil CR-17.

Los datos del cuadro 53 muestran relaciones Al_2O_3/Fe_2O_3 entre 3,7 a 2,2 para los horizontes A y de 3,6 a 2,0 para los B. Estas re-

laciones son más bajas comparables con las del Atlántico.

Es criterio general que las tres relaciones son de importancia para definir el tipo de arcilla predominante en el suelo, pero se consideran (63) que SiO_2/Al_2O_3 y $SiO.R_2O_3$ son los más útiles para todo intento de caracterización de suelos.

6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Con los resultados de las propiedades morfológicas, físicas, químicas, sus relaciones entre si y la clasificación de estos suelos dentro de un sistema adecuado, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Por sus propiedades morfológicas estos suelos son:
   a. De un solum muy profundo, con una secuencia normal de horizontes, los mismos bien desarrollados.
   b. El color pardo es predominante en los horizontes A, por la influencia de la materia orgánica y rojo a pardo rojizo en los B, por su contenido alto de óxidos de hierro.
   c. La estructura bloque subangular, mediano, moderado, domina en casi todos los perfiles; con tendencia a una microestructura de bloque subangular, fina, fuerte en algunos perfiles del área Pacífica.
   d. La consistencia es ligeramente adherente a adherente, ligeramente plástica a plástica, de friable a firme y casi todos es dura.
   e. El límite inferior de los horizontes A es claro, de plano a ondulado, y en los B es gradual o difuso, predominantemente ondulado.
   f. En casi todos los perfiles hay evidencia de revestimientos de arcilla en los "peds", es más definido en los Ultisoles, pero requiere un estudio más específico para verificar el tipo y la cantidad.

En conjunto, las propiedades morfológicas definen los perfiles, como mediana y altamente meteorizados y con buen desarrollo pedogenético.

2. De acuerdo a las características físicas se concluye a lo siguiente:

   a. La densidad aparente, en los perfiles del área Atlántica, muestra valores inferiores a 0,96 gr/cc, excepto en el CR-55 donde son ligeramente superiores a este valor. En los perfiles del Pacífico los valores son ligeramente superiores a 1 gr/cc con tendencia a bajar en los horizontes superiores.

      Es definida la influencia del material parental en los horizontes inferiores y la materia orgánica en los superiores; de allí que los suelos del área Atlántica por ser de origen volcánico tienen densidades aparentes más bajas que los del Pacífico y el CR-55, donde se manifiesta la influencia del material sedimentario, aunque también de origen volcánico.

   b. En las dos áreas de estudio, la densidad de partículas en relación al valor promedio considerado para los suelos minerales (2,65 gr/cc), es bajo en los horizontes A, consecuencia del alto contenido de materia orgánica y es alto en los B, como efecto del alto contenido de óxidos de hierro. Aquí nuevamente, el tipo de material de partida muestra su influencia, correspondiendo los valores bajos a los suelos de origen volcánico y altos a los de origen sedimentario.

c. La retención de humedad, tiene una estrecha relación con la densidad aparente, porosidad, contenido de arcilla, materia orgánica y posiblemente con el porcentaje de óxidos de hierro libre . El porcentaje de retención de humedad gravimétrica es mediana en casi todos los perfiles, y para las diferentes tensiones. Los porcentajes de retención volumétrica son más bajos en aquellos con densidades aparentes bajas y más altos en los que tienen la densidad aparente alta.

El porcentaje de disponibilidad de agua para las plantas, calculada en base a la retención volumétrica, muestra valores medianos para la mayoría de los perfiles del Atlántico, excepto para el CR-55 que es bajo. Para los perfiles CR-46 y CR-20 se registran valores medianos y para el CR-17 y el CR-12 valores bajos. De las condiciones de disponibilidad de agua se puede deducir que estos suelos deben responder bien al riego durante la estación seca.

d. De una manera general, la textura es arcillosa, con porcentajes mayores de arcilla en los perfiles de la zona Atlántica. Los porcentajes de limo y arena son muy bajos en los perfiles de ambas áreas. La relación baja de limo/arcilla que muestran los perfiles evidencian también el alto grado de meteorización de estos suelos.

e. Los porcentajes bajos de arcilla dispersable en agua, contribuyen a verificar la alta estabilidad estructural

de estos suelos y el alto grado de agregación que proporcionan los contenidos altos de óxidos de hierro libre. Característica que es común en los suelos lateríticos (95), latosoles (68) ferralíticos (92) y oxisoles (140), y que sirve de criterio en el Sistema Norteamericano de Clasificación de suelos para reconocer el horizonte óxico.

3. Los resultados de las características químicas conducen a concluir lo siguiente:

a. El pH medido en agua varía de fuertemente ácido a medianamente ácido en ambas áreas, excepto en algunos horizontes de los perfiles del área Pacífica donde tienden a ser menos ácidos o casi neutros, debido a la menor precipitación pluvial y asociado posiblemente con el contenido bajo de aluminio extraible.

La reacción determinada en CaCl2 0,01 M varía de extremadamente ácida a fuertemente ácida en ambas áreas. La diferencia entre determinaciones en agua y CaCl2 dan vabres superiores a 0,5 de pH.

La condición ácida de estos suelos es resultado de la alta concentración de aluminio extraible y la baja saturación de bases.

b. La materia orgánica y el nitrógeno total tienen estrecha relación y ambos disminuyen con la profundidad en forma bastante drástica.

Las relaciones C/N en los perfiles del área Atlántica tienden a ser bajas y en los del Pacífico a ser altas; estos valores

están relacionados con el proceso de alteración de la materia orgánica y las condiciones de clima reinante en las dos áreas. La cantidad de nitrógeno fijado como amonio (124) aumenta con la profundidad en el perfil del suelo, aspecto que muy bien puede relacionar los valores bajos de C/N de los horizontes B.

c. Los óxidos de hierro libre en forma general muestran valores altos, lo cual relaciona bien con otras características, como el color, tendiente a rojo, alta estabilidad de los agregados, bajo contenido de arcilla dispersable en agua, baja capacidad de cambio, friabilidad y la mediana a baja disponibilidad de agua para las plantas.

d. La capacidad de intercambio de cationes del suelo es mediana en los perfiles del área Atlántica y tiende a ser baja en los del Pacífico. No ha sido posible incluir en este trabajo la mineralogía de las arcillas, por no haberse recibido a tiempo los datos analíticos; pero se puede suponer de acuerdo con los datos de la CIC determinada en la fracción arcilla, que ésta corresponde a una mezcla de caolinita, sesquióxidos y quizás algún material amorfo o arcillas del tipo 2:1. Comparativamente la CIC del suelo y de la fracción arcilla muestran diferencias, que en algunos perfiles son relativamente altos. Los valores altos es muy posible que tengan relación con el pretratamiento que recibieron las muestras para destruir la materia orgánica y para la extracción del hierro y

aluminio.

Estos tratamientos pudieron alterar las arcillas o exponerlas más al remover el hierro o aluminio que podría ocurrir como revestimientos. Los valores ligeramente más bajos es posible que se deban a la destrucción de la materia orgánica.

e. La alta precipitación pluvial en los sitios de ubicación de los perfiles, y la consiguiente lixiviación, han hecho que estos suelos tengan un bajo contenido de bases, con la consiguiente acumulación de aluminio y hierro.
La cantidad de potasio cambiable expresada en Kg/Ha , concuerdan en parte con los valores obtenidos por Bornemisza (10) y Suárez (130), principalmente para los suelos del área Pacífica.

f. El análisis elemental de los óxidos de Si, Al, Fe, Ca, K y Mg, aunque muestra características de suelos de mediana a altamente meteorizados, las relaciones entre ellas no se ajustan a los requerimientos de "latosoles", excepto algunos perfiles del área Pacífica. Los sesquióxidos en su totalidad según estudio (117), tienen órigen in situ, principalmente cuando los suelos tienen horizonte óxico o hay tendencia a formarse, ésto sería el caso en algunos perfiles de la zona Pacífica.

4. La génesis de los suelos (74), no es una propiedad, pero da la explicación del porqué de sus propiedades.

Un sistema de clasificación puede estar basado en propiedades y no en la explicación de su formación, de esta manera puede llenar los requerimientos de un sistema de clasificación (70) y acomodarse a las recomendaciones para el uso del mismo (126); de acuerdo con estos conceptos se han seguido los criterios de la Séptima Aproximación (140, 141) y en base a ellos, los suelos estudiados han sido clasificados en los siguientes órdenes:

a. Ultisol para los perfiles CR-55, CR-46, CR-12 y CR-20
b. Inceptisol para los perfiles CR-47, Colorado y CR-32
c. Oxisol para el perfil CR-17, como una alternativa.

5. Con base a las características químicas y físicas podemos concluir que estos suelos poseen una fertilidad mediana con tendencia a ser baja, además puede haber problemas de manejo de fertilizantes por su condición ácida; por el alto contenido de aluminio y hierro son fijadores de fósforo, tal como mencionan Fassbender e Igue (43) al referirse a algunos suelos "latosólicos" del área Atlántica; y por la mediana a baja capacidad de cambio de cationes. En general, las condiciones físicas son favorables; sin embargo, algunas condiciones físicas que hacen desfavorable su manejo como son, la plasticidad, la textura arcillosa y la baja disponibilidad de agua para las plantas.

7. SUMMARY

The morphological, physical and chemical properties of eight latosols were studies and the soils were classified according to the Soil Classification System (7th Approximation).

Profiles CR-55, CR-47, Colorado, and CR-32 correspond to the Atlantic area, located between 300 to 1.300 meters of elevation above sea level, and profiles CR-46, CR-12, CR-17, CR-20 to the Pacifica area distributed between 400 to 900 meters above sea level.

The parental material of the Atlantic profiles is of volcanic and sedimentary origin and that of the Pacific profiles is sedimentary.

All profiles have very deep solum, and are well drainaged and with horizons strongly developed.

The morphology of these soils show the following characteristics: the dark brown color prevail in A horizons, due to the influence of organic matter and varies from reddish brown to red in B horizons, due to the high content of free iron oxides. Moderate, medium, subangular blocky structure, is predominant in all profiles. Consistence is alightly sticky to sticky, from slightly plastic to plastic, from firm to friable when moist, and hard when dry, in most of the profiles. The lower boundary in A horizons is clear and smooth to ondulated; in B horizons is gradual to difuse and ondulated. In almost all profiles there is evidence of clay coatings in the "peds"; being most evident in "Ultisols".

According to the morphological properties these soils are moderately to highly weathered and with a strong pedogenic development.

Among the physical properties, bulk density is lower than 1 gr/cc in almost all Atlantic profiles and higher than 1 gr/cc in Pacific profiles.

Particle density in A horizons gave values lower than the average level (2,65); in B horizons these values were higher. In general, these soils are clayey, and with highly stable structure and porly water dispersable clays. The water holding capacity of these soils ranges from medium to low.

The chemical properties show that the high content of bases and extractable aluminium is responsible for these soils being from strongly to moderately acid. Organic matter and total nitrogen tend to be high in A horizons and low in B horizons. The C/N ratio is low for the Atlantic profiles and high for the Pacific profiles. Cation exchange capacity of the whole soil is higher in the Atlantic than in the Pacific profiles. The exchange capacity of the silt fraction do not contribute significantly with the total exchange capacity of the soil: The exchange capacity of the clay fraction is similar to that of the soils, in most of the profiles.

The elemental analysis indicates that SiO_2 is higher in the Atlantic soils; while Al_2O_3 and Fe_2O_3 have similar values in both areas. The molecular ratios SiO_2/Al_2O_3 and SiO_2/R_2O_3 show higher values

than 2 and 1, respectively, in almost all profiles.

According to the morphological, physical and chemical properties, profiles CR-55, CR-46, CR-12, CR-17, and CR-20 have been classified as Ultisoles and profiles CR-47, Colorado and CR-32 as Inceptisoles. There is an alternative, to consider the profile CR-17 as Oxisol.

8. LITERATURA CITADA

1. ALEXANDER, L.T. y CADY, J.G. Genesis and hardening of laterite in soil. US Department of Agriculture. Technical Bulletin nº 1282, 1962. 90 p.

2. AUBERT, G. Les sol lateritiques. In International Congress of Soil Science, 5th, Leopolville, 1954. Actes et Comptes Rendus. Bruxelles, Secrétariat Général. Societe Internationale de le Science du Sol, 1954? v.1. pp. 103-118.

3. BALDWIN, M., KELLOGG, CH.F. y THORP, J. Soils classification. US Department of Agriculture. Yearbook of Agriculture 1938: 979-1001.

4. BENNEMA, J. The red and yellow soils of the tropical and subtropical uplands. Soil Science 95(4):250-257, 1963.

5. _____, LEMOS, R.C. y VETTORI, L. Latosols in Brasil. In Inter-african Soils Conference, 3rd, Dalaba, 1959, Proceedings. London, CCTA, 1959? v.1. pp. 273-281.

6. BHUMBLA, D.R. y MacLEAN, E.O. Aluminium in soils. Soil Science Society of American Proceedings 29(4):370-374. 1965.

7. 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.

8. _____. Particle density. In Black, C.A. et al. eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 371-373.

9. BONNET, J.A. Latosols of Puerto Rico. In International Congress of Soils Science, 4th, Amsterdam, 1950. Transactions. Groningen, Hoitsema, 1950? v.1, pp. 281-284.

10. BORNEMISZA, E. Acidez, contenido de potasio y materia orgánica de algunos suelos de Costa Rica. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura, 1957. 15 p.

11. _____. Minerales de arcilla en suelos centroamericanos y de Panamá. Turrialba 19(1):97-102. 1969.

12. _____ e IGUE, K. Oxidos libres de hierro y aluminio en suelos tropicales. Turrialba 17(1):23-30. 1967.

13. BOUYOUCOS, C.J. Recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soils. Agronomy Journal 43(9):434-438. 1951.

14. BOWER, C.A. et al. Exchangeable cation analysis of saline and alcaline soils. Soil Science 73(4):251-261. 1952.

15. BRAY, R.H. y KURTZ, L.T. Determination of total organic and available forms of phosphurus in soils. Soil Science 59(1): 39-45. 1945.

16. BREMMER, J.M. Total nitrogen. In Black , C.A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 1171-1175.

17. BUCKMAN, H.O. y BRADY, N.O. Naturaleza y propiedades de los suelos. Traducción de la 5ª edición inglesa por R. Salord Barceló. México, D.F., UTEHA, 1966. 590 p.

18. BUDOWSKI, G. Tropical savannas, a sequence of forest felling and repeated burnings. Turrialba 6(1-2):23-33. 1956.

19. CARDOSO FRANCO, E.P. Cation exchange capacity of clay fraction in ferralitic, fersialitic and paraferrallitic soils of Angola. In International Congress of Soil Science, 8th., Bucarest, Romania, 1964. Comptes rendus. Bucarest, Publishing House of the Academy of Socialist Republic of Romania, 1964? v. 5, pp. 577-581.

20. CARTA GERAL DOS SOLOS DE ANGOLA. Distrito de Mocamedes. Lisboa. Memorias Junta de Investigacioes de Ultramar nº 45. 1963. 192 p.

21. CHANDLER, J.V. y FIGARELLA, J. Effects of fine nitrogen sources on yield and composition of napier grass. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 46(2):102-106. 1962.

22. CLINE, M.G. Methods of collecting and preparing soil samples. Soil Science 59(1):3-5. 1945.

23. COMBEAU, A., OLLAT, C. y QUANTIN, P. Los suelos ferralíticos y resultados de abonamiento. Fertilite nº 13:27-40. 1961.

24. COSTA, J.V.B. DA y AZEVEDO, A.L. Generalized soil map of Angola. In International Congress of Soil Science, 7th., Madison, Wisconsin, 1960. Transactions. Amsterdam, Elsevier, 1961. v.4, pp. 56-62.

25. COSTA RICA. INSTITUTO DE TIERRAS Y COLONIZACION. Proyecto de colonización San Dimas. San José, Costa Rica, 1966. 62 p.

26. _____. Reconocimiento de suelos en la baja Talamanca, zona de Watsi. San José, Costa Rica, 1966. 16 p.

27. _____. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Anuario meteorológico 1966. San José, 1967. 61 p.

28. COSTAS CARO, R., ABRUÑA, F. y CHANDLER, J.V. Response to fertilization of strip-cultivated platains growing on a steep latosol in the humid mountain region of Puerto Rico. Journal of Agriculture of University of Puerto Rico 48(4):312-317. 1964.

29. DAMES, T.W.G. The soil of East Central Java, Bogor, Djan Balai Besar Penjel, Part nº 141, 1955. 155 p.

30. DAY, R.P. Particle fractionation and particle size analysis. In Black, C.A. et al. eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 545-567.

31. DE DATA, R.L., FOX, R.L. y SHERMAN, G.D. Availability of fertilizer phosphorus in three latosols of Hawaii. Agronomy Journal 55(4):311-313, 1963.

32. DEB, B.C. The estimation of free iron in soils and clay and their removal. Journal of Soil Science 2(1):212-220, 1950

33. DELGADO, M. y GARCIA, R. Algunas consideraciones acerca de la fertilidad de una terraroxa. Anales de Edafología y Agrobiología 21(7-12):355-362, 1962.

34. DHAR, N.R. The role of organicmather in soil fertility. Annals of the Royal Agricultural College of Sweden 21(1):105-106. 1954.

35. D'HOORE, J.L. Clay mineral and gibsite crystals as clues to the mode of formation of ancient sesquioxide accumulation zones. In International Congress of Soil Science, 5th, Leopolville, 1954. Actes et Comptes Rendus. Bruxelles, Secrétariat Géneral. Societe Internationale de le Science du Sol. 1954? v. 4. pp. 45-48.

36. _____. The soil map of Africa South of the Sahara. In International Congress of Soil Science, 7th, Madison, Wsiconsin, 1960. Transactions. Amsterdam, Elsevier, 1961. v.4. pp. 11-19.

37. DIAZ-ROMEU, R. y BALERDI, F. Determinación de la capacidad de intercambio de cationes del suelo. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1967. 3 p. (mimeografiado).

38. DONDOLI, C. La región del General, condiciones geológicas y geoagronómicas de la zona. Costa Rica. Departamento Nacional de Agricultura. Boletín Técnico nº 44, 1951. 16 p.

39. _____ y TORRES, J.A. Estudio geoagronómico de la región Oriental de la Meseta Central. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias, 1954. 180 p.

40. DOST, H. Soil survey, soils and conditions of soil formation in Surinam. In International Congress of Soil Science, 8th, Bucarest, Romania, 1964. Comptes rendus. Bucarest, Publishing House of the Academy of Socialist Republic of Romania, 1964? v.5, pp. 185-192.

41. DUDAL, R. y SOEPRAPTCHARDJO, M. Some considerations on the genetic relationship between latosols and andosols in Java. In International Congress of Soil Science, 7th, Madison, Wisconsin, 1960. Transactions. Amsterdam, Elsevier, 1961. v.4. pp. 229-234.

42. ELLIS, B.S. Genesis of tropical red earth. Journal of Soil Science 3(1):52-62. 1952.

43. FASSBENDER, H.W. e IGUE, K. Comparación de métodos radiométricos y colorimétricos en estudios sobre retención y transformación de fosfatos en el suelo. Turrialba 17(3):284-287. 1967.

44. FIELDES, M., SWINDALE, L.D. y RICHARDSON, J.P. Relation of colloidal hydrous oxides to the high cation exchange capacity of some tropical soil of the Cook Islands. Soil Science 74(3): 197-205. 1952.

45. FIGARELLA, J. et al. Effects of phosphorus fertilization on productivity of intenssively managed grasses under humid tropical conditions in Puerto Rico. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 48(3):236-242. 1964.

46. 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.

47. _____. Densidad de partículas de suelo, método con agua y kerosene. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1967. 10 p. (mimeografiado).

48. _____. GAVANDE, S.A. y GONZALEZ, M. Propiedades físicas de suelos derivados de cenizas volcánicas. In Simposium sobre suelos derivados de cenizas volcánicas B.3:1-7. 1969.

49. GALLEGO, R. Estudios sobre distribución de hierro en suelos y su relación con otros factores. Anales de Edafología y Fisiología Vegetal 18(7-8):547-582. 1959.

50. GAVANDE, S.A. Water retention characteristics of some Costa Rican soil. Turrialba 18(1):34-38. 1968.

51. GEDROITS, K.K. Genetic soil classification bases on the absorptive soil complex and absorbed soil cations. Washington, D.C. US Department of Agriculture and the National Science Foundation, 1966. 70 p.

52. GERASIMOV, I.P. y GIAZOVSKAYA, M. Fundamental of soil science and soil geography. Traducción del ruso. Jerusalem, Israel Program Scientific Translations, 1965. 382 p.

53. GLINKA, K.D. The great soil group of the world and their development. Michigan, Edwards, 1927. 235 p.

54. HARDY, F. Senile soils. Turrialba, Costa Rica. IAIAS, 1960. 32 p. (mimeografiado).

55. _____. The soils of the IAIAS. part I area. Turrialba, IAIAS, 1961. 76 p. (mimeografiado).

56. _____. Some aspects of soil in the american tropics. Part II. Feature and distribution of the chief soil groups. Turrialba, IAIAS, 1960. 23 p. (mimeografiado).

57. _____. Studies in Costa Rican soils. Turrialba, IAIAS, 1963. 8 p.

58. _____. Studies in Costa Rican soils. VIII. Fertility status of San Isidro soils. Turrialba, IAIAS, 1963. 5 p.

59. HARRASSOWITS, H. Die stelleng der kaolin und lateritboden. In Conference Internationale de Pedologie, 4tn Rome, 1924. Actes, Rome, Institut International D'Agriculture, 1926. v.3 pp. 358-362.

60. HARRIS, S.A. On the classification of latosols and tropical brown earths of high rainfall areas. Soil Science 96(3): 210-216. 1963.

61. _____ et al. The major soil zones of Costa Rica. In Congreso Latinoamericano de Química, 10º, San José, Costa Rica, 1969. Actividades generales y resúmenes. San José, 1969. p. 121.

62. HOLDRIDGE, L.G. et al. Forest environments in tropical life zones. San José, Costa Rica, WNRE, 1968. 2832 p. (en prensa).

63. HOYOS, C.A. y GONZALEZ, G.F. Génesis de la arcilla. Madrid, Nuevas Gráficas, 1949. 127 p.

64. IGNATIEFF, V. y PETRZVAL LEMOS, M. Some management aspects of more important tropical soils. Soil Science 95(4):243-249. 1963.

65. JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1958. 498 p.

66. JARAMILLO, L.R. Caracterización de lagunos "latosoles" de Mesoamérica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA, 1969. 233 p. (mimeografiado).

67. JOFFE, J.S. Pedology. New Jersey, Somerset Press, 1949. 662 p.

68. KELLOGG, CH.E. Preliminary suggestions for the classification and nomenclature of great soil groups in tropical and equatorial regions. Commonwealth Bureau of Soil Science. Technical Communication no. 46, 1949. pp. 76-85.

69. _____. Tropical soils. In International Congress of Soils Science, 4th., Amsterdam, 1950. Transactions. Groningen, Hoitsema, 1950? v.1, pp. 281-284.

70. _____. Clasificación y correlación de suelo en los estudios edafológicos. Traducido del inglés por A.J. Estrada. Caracas, Venezuela, MOP, 1965. 46 p.

71. KILMER, V.L. The estimation of free iron oxides in soils. Soil Science Society of America Proceedings 24(5):420-421. 1960.

72. KOHKF, H. Soil physics. New York, McGraw-Hill, 1968. 224 p.

73. KRETSCHMER, J.E. Resumen complementario del trabajo de laboratorio químico de investigaciones agronómicas. San José, Costa Rica. Proyecto 30 STICA y Ministerio de Agricultura, 1960. 26 p.

74. KUBIENA, W.L. The classification of soils. Journal of Soil Sciences 9(1):9-10. 1958.

75. KUNZE, G.W. Pretreatment of mineralogical analysis. In Black, C.A. et al, eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 568-577.

76. LAMOUROUX, M. Carte des sols du Togo aun 1:1.000.000 (1-ere Aproximation). In International Congress of Soil Science, 8th, Bucarest, Romania, 1964. Comptes rendus. Bucarest, Publishing House of the Academy of Socialist Republic of Romania, 1964? v.5, pp. 121-131.

77. LIANG, T.A. Tropical soils. Bedford, Massachusetts, Air Force Cambridge Research Laboratories, 1964. 164 p.

78. LIVENS, P.J. y HENNEBERT, T. Caracteristique physiques et chimisques d'un latosol de l' Iturri. Bulletin agricole du Congo Belge, 44(5):937-960. 1953.

79. LOBOVA, E.V. Indices diagnotiques des sols de l' Asie Centrale et de L' Asie Meridionale en tant que base a leur classification. In International Congress of Soil Science, 8th., Bucarest, Romania, 1964. Comptes rendus. Bucarest, Publishing House of the Academy of Socialist Republic of Romania, 1964? v.5, pp. 5-14.

80. LOPEZ GUTIERREZ, C.A. Identificación y clasificación de los minerales de arcilla presentes en nueve suelos de Costa Rica. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 1963. 56 p.

81. McLEAN, E.O. Aluminium. In Black, C.A. et al, eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 978-998.

82. MAIGNIEN, R. Les sols ferrugineux tropicaux. In International Congress of Soil Science, 8th., Bucarest, Romania, 1964. Comptes rendus Bucarest, Publishing House of the Academy of Socialist Republic of Romania, 1964? v.5, pp. 569-575.

83. _____. Review of research on laterites. Paris, UNESCO, 1966. 184 p. (Natural Resources Reports no. 17).

84. MARBUT, C.F. Morphology of latérites. In International Congress of Soil Science, 2nd. Moscú, 1930. Transactions. s.n.t. 1932. v.5, pp. 72-80.

85. MARTIN, D. y SEGALEN, P. Les sols du Cameroun occidental. In International Congress of Soil Science, 8th., Bucarest, Romania, 1964. Comptes rendus, Bucarest, Publishing House of the Academy of Socialist Republic of Romania, 1964? v.5, pp. 133-143.

86. MARTINI, J.A. Chemical, mineralogical and physical properties of seven surface soils from Panama with reference to cation exchange capacity and potassium status. Ph.D. Thesis. Ithaca, New York, Cornell University, 1966. 190 p. (mimeografiado).

87. _____. Algunas consideraciones sobre los suelos de Centroamérica, referencia especial al desarrollo del trópico húmedo. In Seminario sobre Trópicos húmedos del Istmo Centroamericano. IICA, 1968. 27 p.

88. MAUD, R.R. Laterite and laterite soil in Coastal Natal South Africa. Journal of Soil Science 16(1):60-72. 1965.

89. MERVE, C.R. VAN DER. A few types of lateritic soil in the Union of South Africa. Sols Africans 2(3-4):353-356. 1952.

90. MOHR, E.C. y VAN BAREN, F.A. Tropical soils. New York, Inter - science, 1954. 498 p.

91. MOMSEN, R.P. Inventario de Recursos: área del programa de diversificación de Turrialba. Turrialba, IICA, 1968. p. irr (en prensa).

92. MONNIER, G. Estructura y estabilidad estructural de los suelos. Fertilite no. 17:3-12. 1962.

93. MUNSELL COLOR COMPANY. Munsell soil color charts. Baltimore, Maryland, 1954. 20 p.

94. MUSIEROVICZ, A. Specialized soil science. Traducido del ruso. Washington, D.C. Israel Program for Scientific Translations, 1965. 535 p.

95. NARAYANA, N. y SHAH, C.C. Physical properties of soils. Bombay, Manaktalas, 1966. 227 p.

96. NUHN, H. et al. Estudio geográfico regional Zona Atlántica Norte de Costa Rica. San José, Costa Rica, Instituto de Tierras y Colonización, 1967. 360 p.

97. OBENG, H.B. y QUAGRAINE, K.A. Characteristics of some latosols and associated soils from the northwestern savannah zone of Ghana, West Africa. In International Congress of Soil Science, 7th., Madison, Wisconsin, 1960. Transactions. Amsterdam, Elsevier, 1961. v.4, pp. 251-256.

98. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. Guías para la descripción de perfiles de suelos. Roma, 1968. 60 p.

99. PAPADAKIS, J. Soil of the world. London, Elsener, 1969. 208 p.

100. PEARSON, R.W., ABRUÑA, F. y CHANDLER, J.V. Effects of lime and nitrogen applications on downward movement of calcium and magnesium in two humid tropical soil of Puerto Rico. Soil Science 92(2):77-82. 1962.

101. PEECH, M. et al. Methods of soil analysis for soil fertility investigations. US department of Agriculture. Circular no. 757. 1947. 25 p.

102. PEREZ ESCOLAR, R. y LUGO LOPEZ, M.A. Influence of degree of clay mineral crystalization and free iron oxide content on the cation exchange capacity of Catalina and Cialitos clay. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 52 (2):148-154. 1968.

103. PINEDA, J.R. Mineralización de nitrógeno orgánico en algunos suelos de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. 79 p. (mimeografiado).

104. PLUCKNETT, D.L. y SHERMAN, G.D. Extractable aluminium in some Hawaiian soils. Soil Science Society of American Proceedings. 27(1):39-41. 1963.

105. PREBBLE, R.E. y STIRK, G.B. Effect of iron oxide on range of available water in soils. Soil Science 88(4):213-217. 1959.

106. PRESCOTT, T.A. y PENDLENTON, R.L. Laterite and laterite soil. Commonwealth Bureau of Soil Science. Technical Communication no. 47, 1952. 51 p.

107. RICHARDS, L.A. Physical condition 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.

108. ROBERTS, R.C. Soil survey of Puerto Rico. San Juan, University of Puerto Rico, 1936. 503 p.

109. ROBERTS, R.J. e IRVING, E.M. Mineral deposits of Central America. Department of the Interior. Geological Survey Bulletin 1034, 1957. 205 p.

110. ROBINSON, G.W. Some considerations on soil classification. Journal of Soil Science 1(2):150-155. 1949.

111. _____. Los suelos, su origen, constitución y clasificación. Traducido de la tercera edición inglesa por José Luis Amores. Barcelona, Omega, 1967. 515 p.

112. SACADURA GARCIA, J.A. y CARDOSO CALVALHO, J. The soils of St. Tome and Principe Islands. In International Congress of Soil Science 7th., Madison, Wisconsin, 1960. Transactions. Amsterdam, Elsevier, 1961. v.4, pp. 88-96.

113. SAENZ MAROTO, A. Suelos volcánicos cafeteros de Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Serie Agronómica no. 6, 1966. 353 p.

114. SAIZ DEL RIO, J.F. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos; métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1961. 107. p.

115. SALTER, P.D. y WILLIAMS, J.B. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. Journal of Soil Science 16(1):1-15. 1965.

116. SANDNER, G. Aspectos geográficos de la colonización agrícola en el Valle del General. San José, Costa Rica, Ministerio de Obras Públicas, 1961. 65 p.

117. SCHUYLENBORGH, J. VAN. The formation fof sesquioxides in soils. In Hallasworth, E.S. y Grawford, D.V. eds. Experimental pedology. London, Butterworths, 1965. pp. 113-125.

118. SEGALEN, P. Sur l' existence de sols lateritiques bruns a Madagascar. In International Congress of Soil Science, 5th., Leopolville, 1954. Actes et comptes Rendus. Bruxelles, Secrétariat Général, 1954? v. 4, pp. 204-209.

119. _____. Suelos de la zona intertropical. Chapingo, México, Escuela Nacional de Agricultura, 1966. 292 p. (Serie de Apuntes nº. 4).

120. SETZER, J. Os solos do Estado de Sao Paulo. Rio de Janeiro, Servicio Grafico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estadística, 1949. 387 p.

121. SHERMAN, G.D. Factors influencing the development of lateritic and laterite soil in the Hawaiian Islands. In Soils. s.n.t. pp. 243-251. (Mimeografiado).

122. _____, y ALEXANDER, L.T. Caracteristics and genesis of low humic latosols. Soil Science Society of American Proceedings 23(2):168-170. 1959.

123. STEPHENS, C.G. A manual of Australian soils. Melbourne, Commonwealth Scientific and Industrial, 1962. 61 p.

124. STEVENSON, F.J. Carbon nitrogen relationships in soils. Soil Science 88(4):201-208. 1959.

125. STEWART, G.A. The soils of monsoonal Australia. In International Congress of Soil Science. 5th, Leopolville, 1954. Actes et Comptes Rendus. Bruxelles, Secrétariat Général, 1954? v.4 pp. 101-108.

126. _____. Some aspects of soil taxonomy. In International Congress of Soil Science, 5th., Leopolville, 1954. Actes et Comptes Rendus. Bruxelles, Secrétariat Général, 1954? v.4, pp. 109-116.

127. SIVARAJASINGHAM, S. et al. Laterite. Advances in Agronomy 14:1-60. 1962.

128. SOIL HORIZONS designations. Bulletin of the International Society of Soil Science nº 31:4-14. 1967.

129. SOMBROEK, W.G. Amazon soils. Wageningen, Centre for Agricultural Publications and Documentation, 1966. 292 p.

130. SUAREZ, H.A. Caracterización del estado del potasio en tres grandes grupos de suelos de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 305 p. (Mimeografiado).

131. SYS, C. Principles of soil classification in the Belgium Congo. In International Congress of Soil Science, 7th., Madison, Wisconsin, 1960. Transactions. Amsterdam, Elsevier, 1961. v.4. pp. 112-118.

132. _____ et al. Le cartographie des sols au Congo et au Ruanda Urundi, ses principes, ses methodes. Bruxelles, INEAC, 1961. 149 p. (Serie Technique nº 65).

133. TAMURA, T., JACKSON, M.L. y SHERMAN, G.D. Mineral content of low humic, humic and hydrol humic latosol of Hawaii. Soil Science Society of American Proceedings 17(4):343-346. 1953.

134. TANADA, T. Certain properties of the inorganic colloidal fraction of Hawaiian soils. Journal of Soil Science 2(1):83-96. 1951.

135. TOMASZEWSKI, J. A system of world soil classification. In International Congress of Soil Science, 8th., Bucarest, Romania, 1964. Comptes rendus. Bucarest, Publishing House of the Academy of Socialist Republic of Romania, 1964? v.5, pp. 59-68.

136. TOSI, J.A. Mapa ecológico de Costa Rica. San José, Costa Rica, Centro Científico Tropical, 1969. 1 p.

137. _____. Un estudio de reconocimiento de los recursos naturales y potenciales de las tierras de la reserva indígena de Salitre, el Valle del General. San José, Costa Rica. Instituto de Tierras y Colonización, 1967. 77p. Informe nº 1.

138. _____. Capacidad de uso de la tierra determinada por las condiciones de clima, fisiografía y suelos en la parte noreste de la provincia de Guanacaste, San José, Costa Rica, Instituto de Tierras y Colonización, 1967. 77 p. Informe nº 2.

139. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. SOIL SURVEY STAFF. Soil Survey manual. Washington, D.C. U.S. Government Printing Office, 1951, 503 p. (Agriculture Handbook nº 18).

140. _____. Soil classification: a comprehensive system. Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1960. 265 p.

141. _____. Supplement to Soil Classification system (7th Approximation) Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1967. 207 p.

142. VARGAS, V.O. Estudio preliminar de suelos. Proyecto de riego del río Tempisque. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias, 1965. 48 p.

143. _____. Resumen de las actividades de reconocimiento de suelos en Costa Rica. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias, 1965. 13 p.

144. _____ y TORRES, J.A. Estudio preliminar de suelos de la región occidental de la Meseta Central. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias, 1958. 64 p.

145. VOMOCIL, J.A. Porosity. In Black, C.A. et al, eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 299-314.

146. WANBEKE, A. VA. Criterie for classifying tropical soil by age. Journal of Soil Science 13(1):124-132. 1964.

A P E N D I C E

APENDICE A

RELACION TEXTURAL *

Perfiles

Atlántico				Pacífico			
CR-55	CR-47	Colorado	CR-32	CR-46	CR-12	CR-17	CR-20
1,1	0,31	0,74	1,0	1,4	1,0	1,0	0,7

* Relación textural = Suma de % de arcilla de los horizontes A/ suma del % de arcilla de los B menos el % de arcilla de B3.

APENDICE B

DENSIDAD APARENTE gr/cc

Perfiles Atlántico

Horizonte	CR-55	CR-47	Colorado	CR-32
A1 (A11)	1,03-1,05-1,10	0,86-0,87-0,88	0,84-0,86-0,87	0,92-1,00-1,00
A12	---------	0,85-0,90-0,90	0,85-0,86-0,90	--------
A3	0,96-1,00-1,09	0,90-0,92-0,93	0,84-0,84-0,93	0,77-0,92-0,95
B1	1,06-1,06-1,07	---------	---------	--------
B21	1,08-1,10-1,13	---------	0,80-0,87-0,88	0,88-0,90-0,92
B22	1,09-1,10-1,13	---------	0,76-0,77-0,80	0,90-0,90-0,92
B2	---------	0,91-0,92-0,94	--------	-------
B3	1,09-1,13-1,13	1,07-1,08-1,13	0,85-0,91-0,91	0,90-0,92-0,94

Perfiles Pacífico

Horizonte	CR-46	CR-12	CR-17	CR-20
A1 (A11)	0,94-1,00-1,01	1,08-1,09-1,10	0,94-0,96-0,97	0,77-0,82-0,83
A12	---------	1,09-1,12-1,13	0,94-1,02-1,04	--------
A3	1,07-1,13-1,19	1,07-1,11-1,11	1,01-1,06-1,08	0,78-0,83-0,91
B1	1,10-1,11-1,12	---------	1,06-1,11-1,12	0,85-1,01-1,05
B21	1,13-1,20-1,21	1,05-1,07-1,11	1,18-1,24-1,25	1,03-1,03-1,05
B22	1,18-1,21-1,23	1,10-1,11-1,11	1,25-1,31-1,31	1,00-1,04-1,06
B2	---------	----------	---------	--------
B3	1,18-1,21-1,23	1,14-1,15-1,16	1,28-1,28-1,30	0,94-1,01-1,04

Date Due

17 AGO 1983	OCT 1 0 1985
2 - SET 1983	
10 OCT 1983	
~~NOV 2 1 1985~~	
~~DEC 9 1985~~	

Thesis 47565
M152 MACIAS V., MARCIANO

Autor

Propiedades morfológicas

Título

físicas ...

Fecha Devolución	Nombre del solicitante