

GENESIS Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS DE UNA SECUENCIA TOPOGRAFICA
EN EL TROPICO HUMEDO CALIDO

Por

Libardo Mosquera López

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

Centro de Enseñanza e Investigación

Turrialba, Costa Rica

Agosto de 1967

GENESIS Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS DE UNA SECUENCIA TOPOGRAFICA
EN EL TROPICO HUMEDO CALIDO

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:



J. A. Martini Ph.D.

Consejero



E. Bornemisza Ph.D.

Comité



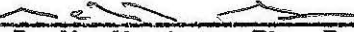
H. W. Fasbender Ph.D.

Comité



E. D. Churchill Ph.D.

Comité



J. M. Montoya Ph. D.

Comité

Agosto de 1967

iii

D E D I C O

A mis padres

A mi esposa

BIOGRAFIA

El autor nació en Sonsón, Departamento de Antioquia, Colombia, en el año de 1934.

Realizó sus estudios universitarios en la Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía - Medellín, obteniendo el título de Ingeniero Agrónomo en diciembre de 1964.

En enero de 1962 empezó a prestar sus servicios al Departamento Agrológico del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" como clasificador y valorador de suelos.

En septiembre de 1965 ingresó al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, mediante una beca otorgada por el USAID/Bogotá, presentando su tesis de grado en agosto de 1967.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. J. A. Martini, consejero principal, por su constante orientación y participación directa en el planeamiento y ejecución de la presente investigación.

Al Dr. E. Bornemisza, por su eficiente y desinteresada colaboración. Al Dr. H. Fassbender, por sus valiosos consejos. A los Drs. E. D. Churchill y J. M. Montoya, miembros del comité consejero.

A los Ings. K. Igue y F. Maldonado.

A USAID/Bogotá, por haber otorgado la beca.

Al Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", que le concedió licencia para continuar sus estudios.

Al Programa de Suelos del IICA, Turrialba, por haberle brindado la oportunidad de realizar el trabajo.

A los profesores, compañeros y a todas aquellas personas, que generosamente participaron para la feliz culminación de sus estudios.

CONTENIDO

| | Página |
|--|--------|
| I. INTRODUCCION | 1 |
| II. REVISION DE LITERATURA | 3 |
| El concepto de "catena" | 3 |
| Génesis de suelos | 4 |
| Suelos tropicales | 8 |
| Algunas propiedades químicas y físicas de los suelos | 12 |
| III. DESCRIPCION FISICA DEL AREA | 19 |
| IV. MATERIALES Y METODOS | 21 |
| Trabajo de campo | 21 |
| Trabajo de laboratorio | 22 |
| Preparación de las muestras | 22 |
| Análisis químicos | 23 |
| 1. Acidez | 23 |
| 2. Capacidad de intercambio de cationes . | 23 |
| 3. Calcio, Magnesio y Potasio | 24 |
| 4. Nitrógeno | 24 |
| 5. Carbono orgánico | 24 |
| 6. Fósforo | 25 |
| 7. Aluminio | 25 |
| 8. Hierro | 25 |
| Análisis físicos | 26 |
| 1. Análisis granulométrico | 26 |
| Trabajo de invernadero | 26 |
| Trabajo sobre potencialidad de la tierra | 28 |
| V. RESULTADOS Y DISCUSIONES | 30 |
| Perfil 1 | 30 |
| Descripción del perfil y resultados de los aná- | |
| lisis de laboratorio | 30 |
| Discusión | 31 |

| | Página |
|--|--------|
| Perfil 2 | 33 |
| Descripción del perfil, resultados de los análisis de laboratorio y del ensayo de invernadero | 34 |
| Discusión | 35 |
| Perfil 3 | 39 |
| Descripción del perfil y resultados de los análisis de laboratorio | 39 |
| Discusión | 42 |
| Perfil 4 | 43 |
| Descripción del perfil y resultados de los análisis de laboratorio | 44 |
| Discusión | 45 |
| Perfil 5 | 47 |
| Descripción del perfil, resultados de los análisis de laboratorio y del ensayo de invernadero | 48 |
| Discusión | 49 |
| Perfil 6 | 53 |
| Descripción del perfil, resultados de los análisis de laboratorio y del ensayo de invernadero | 53 |
| Discusión | 54 |
| Perfil 7 | 58 |
| Descripción del perfil y resultados de los análisis de laboratorio | 58 |
| Discusión | 59 |
| Perfil 8 | 62 |
| Descripción del perfil, resultados de los análisis de laboratorio y del ensayo del invernadero | 62 |
| Discusión | 63 |

| | Página |
|---|--------|
| Perfil 9 | 67 |
| Descripción del perfil y resultados de los análisis de laboratorio | 67 |
| Discusión | 68 |
| Perfil 10 | 70 |
| Descripción del perfil, resultados de los análisis de laboratorio y del ensayo de invernadero | 70 |
| Discusión | 71 |
| DISCUSION DE LA SECUENCIA TOPOGRAFICA | 76 |
| Trabajo de campo | 76 |
| Trabajo de laboratorio | 90 |
| Ensayo de invernadero | 106 |
| Formulación de la génesis de los suelos | 112 |
| Trabajo de potencialidad de la tierra | 117 |
| VI. RESUMEN Y CONCLUSIONES | 121 |
| VII. SUMMARY AND CONCLUSIONS | 125 |
| BIBLIOGRAFIA | 129 |
| APENDICES | 135 |

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

| Cuadro N ^o | | Página |
|-----------------------|--|--------|
| 1 | Compuestos químicos y cantidades aplicadas | 27 |
| 2 | Datos analíticos del suelo del plano inundable | 32 |
| 3 | Datos analíticos del suelo de la terraza baja | 36 |
| 4 | Peso seco (gramos) por maceta de las plantas de tomate, según diferentes tratamientos, ensayo de invernadero | 37 |
| 5 | Interpretación de los resultados del cuadro 4 | 37 |
| 6 | Datos analíticos del suelo de la terraza intermedia | 41 |
| 7 | Datos analíticos del suelo del área inclinada entre dos terrazas | 46 |
| 8 | Datos analíticos del suelo de la terraza alta | 50 |
| 9 | Peso seco (gramos) por maceta de las plantas de tomate, según diferentes tratamientos, ensayo de invernadero | 51 |
| 10 | Interpretación de los resultados del cuadro 9 . | 51 |
| 11 | Datos analíticos del suelo coluvial | 55 |
| 12 | Peso seco (gramos) por maceta de las plantas de tomate, según diferentes tratamientos, ensayo de invernadero | 56 |
| 13 | Interpretación de los resultados del cuadro 12 | 56 |
| 14 | Datos analíticos del suelo en ladera, con roca calcárea | 60 |
| 15 | Datos analíticos del suelo en ladera | 64 |
| 16 | Peso seco (gramos) por maceta de las plantas de tomate, según diferentes tratamientos, ensayo de invernadero | 65 |
| 17 | Interpretación de los resultados del cuadro 16 | 65 |

| Cuadro N ^o | | Página |
|-----------------------|--|--------|
| 18 | Datos analíticos del suelo en ladera con de- clive convexo | 69 |
| 19 | Datos analíticos del suelo de la cima | 72 |
| 20 | Promedio de peso seco (gramos) por maceta de las plantas de tomate, según diferentes trata- mientos, correspondientes al perfil 10 | 73 |
| 21 | Interpretación de los resultados del ensayo de invernadero correspondientes a los suelos del perfil 10 | 73 |
| 22 | Distribución de las arenas muy gruesas (%) en los horizontes | 80 |
| 23 | Distribución de las arenas gruesas (%) en los horizontes | 82 |
| 24 | Distribución de las arenas medianas (%) en los horizontes | 83 |
| 25 | Distribución de las arenas finas (%) en los horizontes | 84 |
| 26 | Distribución de las arenas muy finas (%) en los horizontes | 86 |
| 27 | Distribución de las arenas totales (%) en los horizontes | 87 |
| 28 | Distribución del limo (%) en los horizontes . | 88 |
| 29 | Distribución de la arcilla (%) en los hori- zontes | 89 |
| 30 | pH en agua de los horizontes | 91 |
| 31 | pH en cloruro de calcio de los horizontes ... | 92 |
| 32 | Nitrógeno total (%) en los horizontes | 94 |
| 33 | Carbono orgánico (%) en los horizontes | 95 |
| 34 | Relación C/N en los horizontes | 97 |
| 35 | CIC (meq/100 g suelo) en los horizontes | 98 |

| Cuadro N ^o | | Página |
|-----------------------|---|--------|
| 36 | Contenido de calcio (meq/100 g suelo) en los horizontes | 100 |
| 37 | Contenido de magnesio (meq/100 g suelo) en los horizontes | 101 |
| 38 | Contenido de potasio (meq/100 g suelo) en los horizontes | 102 |
| 39 | Contenido de fósforo (ppm) en los horizontes | 104 |
| 40 | Contenido de óxidos de hierro libre (%) en los horizontes | 105 |
| 41 | Contenido de óxidos de aluminio libre (%) en los horizontes | 107 |
| 42 | Resultados del ensayo de invernadero en los suelos y subsuelos de los diferentes perfiles | 108 |
| 43 | Ensayo de invernadero. Interpretación de los resultados del cuadro 42 | 110 |

Figura N^o

| | | |
|---|---|-----|
| 1 | Corte transversal de la secuencia topográfica y localización de los perfiles estudiados | 77 |
| 2 | Mapa de potencialidad de la tierra y localización de los perfiles estudiados | 118 |

I. INTRODUCCION

Es poco lo que se ha estudiado sobre la génesis y propiedades de los suelos tropicales. Una gran parte de estos trabajos han sido realizados en Australia, Trinidad, Antillas Menores y en el Continente Africano (23, 25, 27, 28, 48, 59, 66).

Debido a que los suelos tropicales son muy heterogéneos, hasta decir que cada perfil de suelo es diferente de los demás, es necesario tener en cuenta las propiedades y la génesis para hacer una clasificación de suelos bien fundada, obteniendo así no solamente la clase de suelo, sino también su potencialidad.

Los conceptos modernos sobre la clasificación de suelos, que aparecen en la Séptima Aproximación (61), requieren de análisis químicos, físicos y mineralógicos para una interpretación más adecuada; sin embargo, en una gran parte de los países de latinoamérica se siguen los métodos antiguos de clasificación, donde los análisis son necesarios, pero juegan un papel menos importante.

Los suelos del trópico húmedo ocupan una considerable extensión; no obstante una gran parte no han sido explotados, ello se debe hasta cierto punto a la pobreza de los suelos ocasionada por la marcada lixiviación de los elementos aprovechables y a la fijación de algunos de ellos, haciéndolos inaprovechables para los cultivos. A esto se debe sumar lo malsano de las regiones húmedas para la existencia del hombre y la abundante cantidad de plagas y enfermedades de las plantas. Sin embargo, la necesidad de nuevas tierras, los avances en la tecnología agrícola y el desarrollo de cultivos adaptables a esta zona, exigen un mayor estudio de estos suelos a fin de ponerlos, si es posible, en producción.

Los objetivos principales del presente trabajo fueron los de caracterizar cualitativa y cuantitativamente los cambios que ocurren en los suelos de una secuencia topográfica o "catena" a fin de poder conocer su origen y algunas propiedades y teniendo en cuenta lo anterior realizar una clasificación de acuerdo a la capacidad de producción de los suelos.

II. REVISION DE LITERATURA

El concepto de "catena"

La palabra "catena" se originó en Africa Oriental cuando Milne se encontraba estudiando un aspecto pedológico natural, claramente definido y reconocible (10). Esta palabra en su forma más simple se refiere a un conjunto de suelos que se suceden topográficamente, se originan de un mismo material parental y en ellos ha influido principalmente la erosión natural (10).

Pedólogos norteamericanos han extendido el término "catena" para significar una agrupación genética de acuerdo al relieve, lo que corresponde a lo denominado como secuencia topográfica; esto indica que ellos han ampliado el significado del término (22, 67). Una "catena" es una secuencia topográfica, pero una secuencia topográfica no necesariamente tiene que ser una "catena" (22).

En el Continente Africano es fácil usar el término "catena" ya que se encuentra ocupado por grandes extensiones geológicas más o menos uniformes, pero en América Tropical, donde la geología es más reciente y compleja, se hace difícil el uso del término (10).

Teniendo en cuenta lo anterior se creyó más conveniente usar en el presente trabajo la expresión secuencia topográfica a fin de no crear confusiones en el uso del término "catena" y quizá caer en un error de interpretación.

Génesis de los suelos

La génesis consiste en una serie de etapas por las cuales ha pasado el suelo para llegar a su estado actual; cada una de estas etapas se considera en relación con el conjunto, condiciones y causas de su producción. Según Simonson (55), la génesis del suelo está constituida por dos fases que son, la acumulación de los materiales parentales y la diferenciación de los horizontes en el perfil; estas dos fases se interpenetran, siendo imposible decir donde termina la una y empieza la otra. Villers (63) dice que el proceso pedogenético es el causante de las propiedades observables del suelo, que luego se relacionan con el medio ambiente y con las características del sitio.

Normalmente el perfil está compuesto por diferentes horizontes que se separan a base de características reconocibles a simple vista (21, 24). La sucesión de los horizontes genéticos y los diferentes grados de desarrollo constituyen el perfil del suelo (21).

Por mucho tiempo el suelo fue clasificado desde varios puntos de vista, encontrándose clasificaciones basadas en formaciones geológicas, algunas veces en vegetación dominante y aún, como en Gran Bretaña, sobre la base de requerimientos de cal y deficiencia de fosfato (24). Investigadores rusos, a fines del siglo XIX, e investigadores americanos, a principios del siglo XX, mostraron que el suelo se debe a la resultante de cinco factores de formación: material parental, clima, vegetación, topografía y tiempo (19). Estos cinco factores son aceptados universalmente, pero no hay

concordancia en su importancia relativa, ya que varía de acuerdo a las condiciones del lugar (19). Hay tres fases o grupos de procesos en la formación de los suelos (21): a) Destrucción de los minerales primarios de la roca madre y formación de nuevos compuestos minerales, incluyendo minerales secundarios de composición muy compleja, b) Acumulación de residuos de plantas y animales, los cuales están sujetos a descomposición y transformación en varias sustancias orgánicas. Normalmente se mezclan con material mineral o forman horizontes por si solos, c) Translocación de los productos de la meteorización dentro del perfil del suelo.

Es relativamente poco lo que se ha estudiado sobre la génesis de los suelos del trópico, sin embargo, aparecen algunos trabajos realizados en áreas diferentes a la del presente estudio que ayudan en forma considerable a un mejor entendimiento y elaboración de un sistema de trabajo.

Hardy (25) en 1935, estudiando la génesis de los suelos provenientes de las diferentes rocas en el trópico húmedo, encontró una variación en los productos químicos y físicos resultantes de la alteración y de la meteorización de las rocas. El mismo investigador (27) en 1939, en la isla de Grenada, realizó un estudio de la génesis de los suelos desarrollados sobre rocas ígneas básicas en el trópico húmedo, encontrando que algunos productos finales de la meteorización dependen del mayor o menor contenido de los constituyentes químicos de la roca y de las condiciones en que se lleva a cabo la meteorización. En 1941, Hardy y Rodríguez (28), en un trabajo sobre génesis de suelos y su evolución pedológica en áreas

volcánicas de las Antillas Menores, encontraron que muchos de los fragmentos de rocas muestran diferentes características físicas que se transmiten a los suelos, siendo posible conocer la evolución de cada suelo.

Hallsworth y otros (23), en 1952 llevaron a cabo un trabajo de pedogénesis en Nueva Gales del Sur, en el cual midieron en una catena las pérdidas ocasionadas por lixiviación y la cantidad recibida por la meteorización, encontrando que los suelos de las partes más altas son más lixiviados, debido a que el agua de infiltración está menos concentrada de bases; sin embargo a medida que se descende en la catena, el agua pierde la capacidad de lixiviar debido a su alto contenido de bases.

Ellis (18) observó que bajo las condiciones de Rhodesia la meteorización está en función de los constituyentes básicos de las rocas. Para este trabajo se hicieron análisis de las fracciones de arcillas, encontrándose que la remoción de la sílice y el consecuente enriquecimiento de la arcilla en hierro y aluminio es gradual y se continúa hasta el horizonte superficial, alcanzando su máximo en la zona de mayor lluvia. Watson (64), en Rhodesia del Sur, estudiando la posible evolución de una catena, encontró que la capacidad de intercambio de cationes y los contenidos de hierro y potasio disminuyen con la altura; sin embargo, no se encontró tal secuencia para el calcio y el magnesio. También en Rhodesia del Norte, Webster (65) en 1964 al estudiar una catena, teniendo en cuenta el análisis granulométrico, coloración y los datos químicos, encontró que la arcilla tiende a aumentar con la

profundidad del perfil, mientras que la arena fina disminuye y la arena gruesa permanece variable; generalmente el nitrógeno y el carbono orgánico disminuyen con la profundidad del perfil y no se encuentra secuencia en el porcentaje de saturación de bases, pH, calcio, magnesio y potasio; también encontró que los suelos tienden a ser más claros a medida que se profundiza en el perfil.

Nye (48) en el trópico húmedo, en los bosques del Oeste africano, estudió algunas características físicas de los suelos y formuló la génesis de la catena. En todos los perfiles encontró dos horizontes principales, uno de ellos sedentario y el otro arrastrado y depositado sobre el primero; también notó que a medida que se sube en altura el perfil se va haciendo más profundo y más desarrollado.

Webster (66) anota, que la génesis de los suelos de Africa Central se debe a la influencia de tres factores primarios, que son: el clima del pasado y del presente, la naturaleza de la roca subyacente y la edad de la superficie de la tierra o las alteraciones que toman lugar en su relieve; este último lo considera como determinante no solo del grado de madurez, sino también del área. A pesar de la uniformidad del clima, existen muchos materiales parentales, incluyendo rocas ígneas y básicas, que dan igualmente diferentes clases de suelos; no obstante, a medida que pasa el tiempo la meteorización aumenta y el perfil se va haciendo más desarrollado.

Turton y otros (59), en suelos lateríticos de la parte Sur del Oeste de Australia, no encontraron secuencia en la composición

química y mineralógica de los horizontes a medida que se profundiza en el perfil.

Suelos tropicales

Los suelos del trópico latinoamericano, ocupan un área heterogénea de gran importancia agrícola, donde varían los cinco factores de formación de los suelos. Además de una diversidad en las rocas, las actividades volcánicas que se extienden desde tiempos muy remotos hasta nuestros días, han influenciado grandemente sobre el paisaje; prueba de ello son las grandes cadenas de montañas de origen volcánico (42). La temperatura varía desde 30°C y más, sobre el nivel del mar, hasta menos de 0°C, donde la superficie permanece cubierta de nieve. La vegetación comprende desde las frondosas selvas del trópico húmedo, hasta los desiertos en el trópico seco.

Al hablar de los suelos del trópico cálido, se distinguen generalmente dos clases: 1) Suelos del trópico húmedo, sin una estación seca definida, donde la meteorización es rápida y a menudo muy intensa. 2) Suelos del trópico seco, con estaciones secas muy marcadas. Aquí la distribución de las lluvias juega un papel importante en la naturaleza de los productos finales de meteorización.

En el trópico existe una diversidad de suelos, pero se mencionarán en este trabajo algunos aspectos relacionados con los suelos que aparecen en el área en estudio.

Los suelos aluviales se refieren no solo a los suelos derivados de aluvión, sino también a los suelos en plano de inundación y deltas en proceso de formación, con características heredadas del aluvión mismo y sin secuencia genética en sus horizontes (60). La distribución de las capas está relacionada con los continuos cambios de las corrientes naturales de agua, que depositan materiales de acuerdo a su caudal (9), las corrientes más rápidas depositan arena y partículas más gruesas, mientras que las corrientes lentas depositan limo y arcilla (54). Los suelos aluviales pueden tener algunas características que reflejan la zona climática en la cual se desarrolla, a pesar de no poseer una secuencia genética definida de sus horizontes; sin embargo, a medida que transcurre el tiempo se va meteorizando y desarrollando el perfil (60).

Los suelos coluviales, transportados principalmente por la influencia de la gravedad y localizados en la base de las pendientes fuertes, están formados por fragmentos de rocas desprendidas de las laderas de montañas y constituidos en parte por materiales gruesos y pedregosos, pues en ellos la edafización física ha dominado sobre la química (9).

A pesar de que algunos suelos aluviales y coluviales son de baja fertilidad, poseen una alta fertilidad potencial, pues a medida que la meteorización avanza, se van liberando, del material parental, elementos nutritivos para las plantas.

Los suelos rojos y amarillos del trópico cubren una parte considerable de la superficie terrestre; sin embargo, una baja proporción de ellos se utilizan para fines agrícolas (2), lo cual

puede ser un reflejo de la baja producción de estos suelos, a causa de una baja fertilidad o un excesivo desbalance nutricional. Las condiciones físicas son generalmente adecuadas.

Los latosoles han sido estudiados relativamente poco y es a veces difícil separarlos de los otros suelos bien desarrollados (29, 42). Entre las características y las propiedades de los latosoles se tienen: 1) Diferenciación difusa o transiciones graduales entre los horizontes, 2) Ausencia o escasez de diferentes láminas de arcillas silicatadas sobre los "peds" o revestimiento en los canales, 3) Baja capacidad de intercambio de cationes de las arcillas, debido a la ausencia o casi ausencia de alofanos y de arcillas del tipo 2:1, que poseen una alta capacidad de intercambio de bases, 4) Colores rojos, amarillos o pardos en el subsuelo o parte de éste a causa del alto contenido de óxidos de hierro, 5) Condición granular bien desarrollada, que permite un excelente drenaje interno y 6) Altos niveles de óxidos de hierro, aluminio o manganeso (2, 9).

Los suelos lateríticos han sufrido una excesiva meteorización y se presentan muy lixiviados, su contenido de nutrimentos y materia orgánica es bajo si se les compara con otros grandes grupos de suelos anexos como los aluviales o los planosoles; tienen además bajos niveles de cationes cambiables y elevada capacidad de fijación de fosfatos (32). Por encontrarse los latosoles, generalmente, en climas húmedos, además de poseer buen drenaje interno, la lixiviación de nutrimentos es alta; esto puede ser controlado parcialmente manteniendo una buena cubierta vegetal, mediante el

establecimiento de asociación de cultivos, rotación de cultivos, abonos verdes y otras prácticas de conservación de los suelos (32).

Los latosoles, aunque profundos y fuertemente meteorizados, tienden a no mostrar mucha diferenciación en los horizontes (17); sin embargo, en ciertos casos los horizontes están bien definidos. Ejemplo, el horizonte superficial de los latosoles bajo bosque, con alto contenido de materia orgánica, y el subsuelo moteado de los latosoles de planicie, con un alto nivel freático. La velocidad de meteorización química aumenta al máximo en la zona tropical (63), donde la cantidad y distribución de las lluvias juega un papel importante en la naturaleza de los productos finales de laterización (46, 53). La alternación de estaciones secas y húmedas dan como resultado la estabilización de los óxidos de hierro, mientras que en regiones con ausencia o casi ausencia de la estación seca, las capas endurecidas de óxido de hierro no se desarrollan y el hierro y aluminio permanecen en forma de óxido libre estable (53, 56).

La fertilidad de los latosoles es normalmente media a baja y en muchos suelos está restringida al horizonte A y relacionada al contenido de materia orgánica (2, 38). Martini (44), en suelos del área de Turrialba, obtuvo para todos los tratamientos con fertilizantes, una mayor producción de tomate en el suelo que en el subsuelo, sin embargo, la respuesta a los mismos tratamientos fue mayor en el subsuelo.

La Séptima Aproximación (61) incluye en el Orden Oxisoles a los suelos que en años anteriores se llamaban Latosoles y que según algunos autores están restringidos a las regiones tropicales y subtropicales, aunque es posible que algunos se encuentren en climas templados. Este orden se divide en varios sub-órdenes: 1) Udox, oxisoles que siempre están húmedos en todos los horizontes o tienen horizontes que permanecen secos por períodos menores a 30 días, 2) Acrox, se forman solamente a partir de materiales originarios altamente básicos donde la edad de la superficie de la tierra, parece ser muy antigua, 3) Ustox, se encuentran en climas húmedos con estaciones secas marcadas, 4) Idox, oxisoles que están usualmente secos o tienen prolongadas estaciones secas, algunos de ellos son evidentemente muy antiguos y se supone que los climas pasados fueron más húmedos.

Algunas propiedades físicas y químicas de los suelos

Las partículas minerales que componen el suelo se originan de la meteorización de la roca madre (37), siendo la textura una expresión de la proporción relativa en que se encuentran las diferentes partículas o grupos de partículas de acuerdo con su tamaño (60). Las unidades texturales no solamente incluyen materiales cristalinos, sino también materiales amorfos y partículas complejas (37). Bouyoucos (3) en 1927 usó una inmersión variable del hidrómetro en un suelo de composición mecánica conocida para leer directamente en gramos de suelo por litro de suspensión y encontró que ese mismo hidrómetro puede ser aplicado para determinar la

textura de los suelos. En este método, además de los errores debidos a la técnica experimental, hay dos fuentes adicionales de error, una causada por las variaciones en la forma y la otra por los cambios en la densidad de las partículas del suelo, las cuales difieren de lo asumido. El error debido a la variación en la densidad no sucede con el método de la pipeta, que se basa en la ley de Stokes o caída libre de las partículas en un medio de densidad conocida.

La acidez del suelo está representada por el pH o concentración de H^+ y Al^{+++} en solución. Cuando se mide en condiciones de humedad natural existente en el campo, se considera como la más válida en función de su ambiente biológico; cuanto más diluída la suspensión, tanto más alto será el valor del pH (34). La medida de la acidez del suelo en disolución de cloruro de calcio se hace con el fin de enmascarar la variabilidad del contenido de sales en los suelos, ocasionada por la época de muestreo, para mantener el suelo en condición floculada y con el fin de disminuir el potencial de contacto (34). El pH es quizás la determinación más corriente en el análisis de los suelos ya que dice mucho sobre el estado del suelo y la disponibilidad de los nutrimentos (4).

Al igual que el pH, la materia orgánica influye sobre las propiedades del suelo, afectando la solubilidad de los fosfatos y de los elementos menores, y mejorando sus condiciones físicas (4). A continuación se enumera con más detalle los efectos de la materia orgánica en el suelo (9):

1. Influencia sobre el color, haciéndolo frecuentemente más oscuro.
2. Influencia sobre las propiedades físicas.
 - a) Fomenta y da estabilidad a la granulación, reduciendo la porosidad en los suelos arenosos y aumentándola en los arcillosos.
 - b) Reduce la pegajosidad y la plasticidad.
 - c) Aumenta la capacidad de retención de agua, que tiende a reducir la erosión del suelo.
3. Influencia sobre las propiedades químicas.
 - a) Aumenta la capacidad de intercambio de bases.
 - b) En suelos alcalinos tiende a bajar el pH, sucediendo lo contrario en los suelos ácidos.
4. Influencia sobre la fertilidad de los suelos.
 - a) La materia orgánica es fuente de nitrógeno; contiene además fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y algunos elementos menores.
 - b) Ayuda a mantener un alto nivel de actividad microbiana, que favorece el contenido de nutrimentos disponibles para las plantas.

El nitrógeno se encuentra en el suelo en forma de NO_3 , NO_2 , NH_2 , NH_3 . Estos compuestos pueden pasar de uno a otro por acción de los microorganismos del suelo; el nitrógeno se puede encontrar fijado por las raíces de algunas plantas y en los tejidos de los organismos que al morir lo liberan al suelo (9). Experimentos recientes han demostrado que muchos suelos tienen la habilidad para

fijar considerables cantidades de amonio (15) y que tal amonio puede constituir del 20 al 40 por ciento del nitrógeno total; parte del nitrógeno fijado es incluido en la determinación por el método de Kjeldahl, resultando en relaciones C/N poco comunes (8, 58).

[La ausencia de ciertos cationes como calcio, magnesio y potasio, también ocasiona la acidez del suelo.] Cuando ocurre una deficiencia es necesario hacer enmiendas para mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas y facilitar así la acción de los abonos. Las principales rocas calizas de origen sedimentario, que se encuentran en la superficie de la tierra, son calcita, aragonita, como también la dolomita que es un carbonato de calcio y de magnesio (9). Los carbonatos de origen orgánico se han formado por precipitación de los organismos suspendidos en agua, que durante su vida construyeron una caparazón calcárea, al morir estos organismos, la caparazón formó parte de los desechos inorgánicos (13).

Cuando un suelo con magnesio intercambiable, así como también calcio intercambiable, se agita con solución de cloruro de calcio para determinar la acidez, ocurren algunos cambios entre estos iones, sin embargo la concentración total de iones divalentes en la solución permanece inalterada, es decir que se conserva el equilibrio (51).

El potasio se encuentra en forma de cloruro en las rocas denominadas silvita, carnalita, cainita, y como nitrato en el salitre; sin embargo, estos minerales no son comunes en la formación de los suelos, aunque si de mucho interés en la industria de los

fertilizantes. Los principales minerales potásicos que ayudan a la formación de los suelos son la microclina, ortoclasa, muscovita y la biotita (43). Wiklander, citado por Martini (43), anota cuatro clases de potasio en el suelo: 1) Soluble, se encuentra en bajas concentraciones en la solución del suelo, 2) Cambiable, rápidamente reemplazable por otros cationes, 3) Fijado, principalmente potasio interlaminar y 4) Estructural, forma parte de los minerales primarios y secundarios; representa la forma mayor de potasio en los suelos. Las cantidades de potasio varían mucho en los suelos, en general son considerablemente mayores que los contenidos de nitrógeno o fósforo. Este elemento se pierde fácilmente en las aguas de eliminación, pero es adsorbido rápidamente en cantidades apreciables por ciertos coloides del suelo cuando se aplica en forma asimilable (45). En suelos fuertemente empobrecidos de potasio, es necesario elevar primero los niveles de los demás nutrimentos, especialmente del fósforo, antes de obtener una respuesta a este elemento (36).

El fósforo es casi siempre el primer elemento que se manifiesta deficiente después de que el suelo ha sido sometido a cultivo (9), se encuentra en el suelo en dos grandes formas: fosfatos orgánicos y fosfatos inorgánicos (5, 20). Existe la tendencia de los compuestos de fósforo a concentrarse en los horizontes superiores y sus contenidos correlacionan con el aprovechamiento agrícola (9). La fuente principal de abastecimiento de fósforo en los fertilizantes es la apatita.

El desarrollo de un sistema de fraccionamiento de fósforo ayuda a un mejor entendimiento en el campo de la química, de la génesis y de la fertilidad del suelo (11). Fassbender (20) en suelos del área de Turrialba encontró que el contenido de fósforo orgánico en los suelos lateríticos es mayor que el contenido de fósforo inorgánico y que la mayor cantidad de fósforo inorgánico se encuentra como fosfato de hierro, seguido por el fosfato de aluminio y por último el fosfato de calcio. También encontró esta misma secuencia, pero no tan marcada, para los suelos aluviales. La determinación de fósforo por el método de Bray 1, con una ligera modificación en acuerdo con Saiz del Río y Bornemisza (50) tiene la propiedad de solubilizar los fosfatos de hierro y aluminio y disolver la parte más activa de los fosfatos de calcio. Según varios autores este método correlaciona bien la capacidad de abastecimiento de fósforo y la producción de los suelos; no obstante Daza (14) encontró una mejor correlación con el método de Troug para los suelos del área de Turrialba.

El contenido de fósforo depende del material parental que le da origen a los suelos, las condiciones climáticas bajo las cuales se desarrollan, el grado de meteorización y la cantidad de la materia orgánica (45).

Los óxidos de hierro y aluminio se encuentran generalmente asociados con moléculas de agua, pudiéndose representar por las fórmulas $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{XH}_2\text{O}$ y $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{XH}_2\text{O}$, donde X representa el número de moléculas de agua. De acuerdo al grado de hidratación se tendrán diferentes minerales, ejemplo, gibsita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), goetita

($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) y limonita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$); cada uno de estos minerales da al suelo características diferentes, sobre todo en la coloración. En los suelos lateríticos, el contenido de óxidos de hierro y aluminio es bastante alto, encontrándose algunas veces en cantidades mayores al 30 por ciento del total del suelo (9).

Según Schuylenborgh (52) el mecanismo de la formación de un complejo metal-orgánico puede ser una hidrólisis o una oxidación, siendo los complejos de hierro y aluminio muy susceptibles a la hidrólisis. El hierro y el aluminio tienden a insolubilizar los fosfatos de los fertilizantes (9). La estabilización del óxido de hierro en el suelo es el resultado de una alternación de estaciones húmedas y secas (53).

III. DESCRIPCION FISICA DEL AREA

El área estudiada se encuentra en los alrededores de Turrialba, a 2.5 Km. al Noreste de la población, ocupando parte del valle y de las estribaciones de la Cordillera Central, con la siguiente localización geográfica: 83° 39' 40" longitud Oeste y 9° 55' 21" latitud Norte.

Según observaciones climatológicas realizadas por varios años en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (33) y que se pueden tomar como aproximadas para el área estudiada, posee una temperatura media anual de 22.3°C, una precipitación media de 2575.5 mm anuales y una humedad relativa diaria promedio de 87.9 por ciento, perteneciendo al Bosque muy Húmedo Subtropical, de acuerdo a las formaciones ecológicas de Holdridge (31).

La precipitación media mensual está en relación directa a la humedad relativa e inversa a la temperatura. Marzo es el mes menos lluvioso, aumentando la precipitación hasta junio, disminuyendo en los dos meses siguientes, aumentando luego hasta llegar a diciembre, que es el mes más lluvioso (323.2 mm) y disminuyendo hasta marzo (67.3 mm).

Casi toda el área se encuentra cubierta de pasto bastante enmalezado, solo una pequeña parte está ocupada por café, y la cima por bosque y pastos altos no utilizados para el ganado.

El valle se encuentra atravesado por el Río Turrialba, donde llegan varios tributarios entre ellos el Río Azul, que cruza el área estudiada, al cual desembocan algunas corrientes intermitentes

que drenan las laderas.

El paisaje está dominado por el Volcán Turrialba, localizado a 13 km del área, con una altura de 3328 m sobre el nivel del mar.

Branson, citado por Dóndoli y Torres (16), dice que el Valle de Turrialba debe su forma característica por haber sido un cráter de explosión que luego fue rellenado por el aporte de materiales acarreados por los ríos. Esta opinión ha sido rebatida y se dice que el valle se debe a la confluencia de varios ríos de notable caudal. Según anotan Dóndoli y Torres (16) por el Valle del Río Turrialba bajó la colada de Aquiares y se continuó en dirección de Las Animas. Las Animas es una formación calcárea del Eoceno Superior que aflora en el área de Azul en bancos casi verticales, hasta de 2 m de espesor y que ocupa la parte más pendiente del área en estudio. También se encuentran en el área afloramientos de lava reciente de tipo andesítico.

De acuerdo a la configuración del terreno se divide el área en: 1) Plano de aluviones muy recientes, inundables periódicamente, 2) Terraza aluvial, inundable ocasionalmente, 3) Terraza no inundable, con influencia coluvial, 4) Coluvio, caracterizado por la abundancia de cantos rodados, 5) Zona escarpada, con pendientes mayores a 50 por ciento, 6) Cima, en forma de lomo redondeado.

MATERIALES Y METODOS

Trabajo de campo

Se salió al campo para escoger una área (secuencia topográfica) que tuviera una variación de suelos, desde la parte baja (orilla de un drenaje natural) hasta la parte más alta de la cima. Los suelos a encontrar deberían ser: a) Aluviones muy recientes, b) Terrazas, c) Coluvios, d) Laderas de montañas con variabilidad de suelos a medida que se cambia en elevación, e) Cima.

Una vez seleccionada el área para el trabajo de campo, se recorrió ésta haciendo observaciones del suelo, tanto lateral como a lo largo de la secuencia topográfica, con ayuda de una pala y un barreno de tornillo. Se hicieron 13 descripciones con detalle y algunas descripciones secundarias para complementar las anteriores. Con base al estudio de campo se eligieron 10 sitios en la secuencia topográfica para describir y tomar muestras de los suelos, abriendo 9 calicatas a lo largo de una línea en la secuencia topográfica y una lateral para complementar el área de coluvio.

Para el estudio de los suelos, al abrir las calicatas se anotaron las características internas y externas. Como características externas se tuvieron en cuenta la posición fisiográfica, topografía, pendiente, erosión, pedregosidad, drenaje natural y vegetación. Para la posición fisiográfica se tuvo en cuenta no solo la configuración del terreno, sino también el lugar ocupado por cada suelo. La pendiente del terreno se midió con un clinómetro y se

complementó con la configuración de la superficie para determinar la topografía. La erosión y el drenaje natural se estimaron a simple vista, teniendo en cuenta la densidad de la cubierta vegetal, el relieve y la estructura del suelo. La pedregosidad se evaluó calculando el porcentaje del área cubierta por piedras. Para el estudio de las características internas los perfiles se separaron en horizontes, anotando para cada uno de ellos la profundidad del horizonte, textura, color (con la ayuda de la tabla de colores de Munsell), moteamientos, estructura, consistencia en húmedo* y en mojado**, presencia de piedras, cascajo y gravilla, material parental, contenido de raicillas, acidez (usando el medidor de la reacción del suelo de Troug, modelo 694) y presencia de materiales calcáreos (reacción al HCl al 10%).

Una vez descritos los horizontes, se tomaron muestras para los análisis químicos y físicos. También se tomaron muestras de suelo y subsuelo de cinco perfiles (aproximadamente 40 kg) para determinar la productividad y fertilidad de estos, mediante ensayos de abonamiento en macetas en el invernadero.

Trabajo de laboratorio

Preparación de las muestras

Las muestras de suelos de los horizontes de cada perfil fueron llevadas al laboratorio donde se secaron al aire libre, luego

* Suelo con humedad igual o ligeramente menor a la capacidad de campo.

** Suelo con humedad ligeramente superior a la capacidad de campo.

se pasaron por un tamiz de 2 mm y finalmente cada una de ellas fue homogenizada en un mezclador del tipo "Twin shell dry blender".

Análisis químicos

1. Acidez: a) Se determinó la acidez en agua usando la relación suelo-agua 1:1 (49), tomando el suelo con la humedad de campo, que según Jackson (34) se considera la más válida en función del ambiente biológico existente en el suelo.

b) Método con CaCl_2 0.01M (51), usando la relación suelo-disolución 1:1. La medida de pH en una solución de CaCl_2 se hace con el fin de enmascarar la variabilidad del contenido de sales y de la humedad en los suelos y para mantener el suelo floculado, disminuyendo en esta forma el potencial de contacto.

2. Capacidad de intercambio de cationes: Se usó básicamente el método de Peech (49), que consiste en saturar con amonio las cargas negativas del suelo y luego destilar el amonio adsorbido, después de haberlo desplazado con NaCl al 10 por ciento y acidulado.

Se colocaron 20 g de suelo en un tubo de centrifuga de 100 ml, se agregaron 50 ml de acetato de amonio neutro normal, agitando mecánicamente por 30 min y dejándolo reposar durante la noche. Para las filtraciones o lavados se siguió la técnica de la centrifuga (34). Después de centrifugar, se repitió esta operación tres veces más agregando 50 ml de acetato de amonio neutro normal y agitando por espacio de 2 min. Los lavados se recogieron para

determinar las bases cambiables.

El suelo se lavó cuatro veces con proporciones de 50 ml de alcohol isopropílico al 95 por ciento a fin de eliminar el exceso de acetato de amonio.

El amonio adsorbido por el suelo se desplazó con cuatro lavados de NaCl al 10 por ciento y acidulado, usando cada vez 50 ml y guardando los lavados para destilar el amonio, el cual se recogió en ácido bórico al 4 por ciento y se tituló con ácido sulfúrico de normalidad conocida.

3. Calcio, Magnesio y Potasio: Se efectuó por medio del método de Peech y otros (49), aprovechando la extracción con acetato de amonio neutro normal en la determinación de la capacidad de intercambio de cationes. Estos iones se midieron en el Espectro fotómetro de absorción atómica, Perkin Elmer. Modelo 303, usando una longitud de onda de 212 m μ para el calcio, 285 m μ para el magnesio y 383 m μ para el potasio.

4. Nitrógeno: Se determinó por el método de Kjeldahl modificado (34), usando como catalizador la llamada muestra Hibbard y recogiendo el amonio de la destilación en ácido bórico al 4 por ciento, para luego titularlo con ácido sulfúrico.

5. Carbono orgánico: Determinado por el método descrito por Allison (1), que es una modificación del llamado método de Walkley y Black. Se valió de estos resultados para determinar el contenido de materia orgánica.

6. Fósforo: Para la determinación se usó el método denominado Bray 1 (7) modificado (50), que tiene la propiedad de solubilizar los fosfatos de Fe^{+++} y Al^{+++} y disolver la parte más activa de los fosfatos de calcio.

7. Aluminio: Se utilizó el método descrito por Bornemisza e Igue (6), que es una adaptación de dos métodos: a) Extracción según la técnica de Hashimoto y Jackson (30) y b) Determinación colorimétrica del aluminio con aluminona (12). Este procedimiento tiene la ventaja de poderse usar en el laboratorio sin necesidad de aparatos costosos; sin embargo la coloración se midió en un fotolorímetro universal marca Coleman, modelo 14, usando una onda de 537 m μ .

8. Hierro: Se usó la técnica de Kilmer (39) con ligeras modificaciones hechas por Bornemisza e Igue (6) principalmente para permitir la determinación, con equipo menos costoso, de grandes cantidades de hierro libre en presencia de cantidades altas de materia orgánica. La extracción se hizo siguiendo el método descrito por los mismos autores, pero para la determinación se usó el Espectro fotómetro de absorción atómica, Perkin Elmer. Modelo 303, después de completar a 140 ml y filtrar la suspensión; además para algunas muestras se tomó una alícuota de la solución y se trató con 20 ml de H_2O_2 , con el fin de pasar el Fe^{++} a la forma Fe^{+++} y averiguar la diferencia en los contenidos de hierro al hacer las lecturas en el espectrofotómetro; no obstante, en los horizontes de

algunos perfiles, se hizo la extracción y determinación por el método ya citado, los resultados obtenidos aparecen en el apéndice 2.

Análisis físicos

1. Análisis granulométrico: Se realizó por el método de la pipeta (40) por considerarse más exacto. Las fracciones se clasificaron de acuerdo al sistema del USDA. Hubo necesidad de preparar un sistema de pipeteo que sustituyera a la pipeta automática, usando una pipeta de 25 ml y un motor para succión constante a fin de que el tiempo de pipeteo fuera lo más uniforme posible para todas las muestras. Por falta de un tamiz de 50 μ , la fracción de arena muy fina se calculó por diferencia. El tiempo de sedimentación se calculó de acuerdo a un diagrama basado en la ley de Stokes de caída libre de las partículas en un medio de densidad conocida y a una temperatura dada (35).

Trabajo de invernadero

Se tomaron muestras de suelo y subsuelo de algunos perfiles para ensayos de invernadero; se llevaron al laboratorio para secarlas al aire libre y luego se pasaron por un tamiz de 2 mm. Cada suelo se mezcló hasta homogenizarlo y se pesó 1 kg de suelo por maceta. Se usó la técnica del nutrimento faltante propuesta por Hardy y Bazán (26).

Para cada suelo se hicieron 7 tratamientos con 4 repeticiones. Los tratamientos fueron:

1. Testigo, es decir sin abonar
2. Completo, menos nitrógeno
3. Completo, menos fósforo
4. Completo, menos potasio
5. Completo, menos magnesio
6. Completo, menos elementos menores y azufre
7. Completo, se aplicó N, P, K, Ca, Mg, S y los elementos menores Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, y B, en las cantidades y formas químicas que aparecen en el cuadro 1.

No se utilizó el tratamiento de completo, menos calcio, debido a que los suelos se derivan de roca caliza y son altos en este elemento.

Cuadro 1. Compuestos químicos y cantidades aplicadas.

| Nutrimento | Cantidad kg/ha* | Compuesto químico aplicado |
|------------|-----------------|---|
| Nitrógeno | 200 | $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ |
| Fósforo | 500 | $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ |
| Potasio | 200 | KCl |
| Calcio | 340 | $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ |
| Magnesio | 300 | MgCO_3 |
| Azufre | 50 | Na_2SO_4 |
| Cobre | 10 | $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ |
| Zinc | 20 | $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ |
| Manganeso | 40 | $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ |
| Hierro | 50 | $\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ |
| Molibdeno | 10 | $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ |
| Boro | 10 | $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ |

* 1 ha = 2000000 kilogramos de suelo.

Los compuestos se aplicaron en solución 10 días antes de la siembra. El azufre se aplicó 2 días después de los demás elementos para evitar una precipitación del calcio y magnesio. Se usó como planta indicadora el tomate, variedad Turrialba; a razón de 6 plantas por maceta, que crecieron durante 6 semanas. El experimento fue cosechado y las plantas secadas al horno (85°C) durante 3 días para obtener el peso seco por maceta, luego se compararon los resultados de los diferentes tratamientos. También se tomaron transparencias en colores, antes de cosechar.

Trabajo sobre potencialidad de la tierra

De acuerdo a las características físicas observables en el campo, a los resultados de análisis físicos y químicos realizados en el laboratorio y a la respuesta de las plantas a la aplicación de nutrimentos, en el ensayo de invernadero, se elaboró un mapa de potencialidad de la tierra. Este mapa tiene como fin delinear las diferentes clases de tierras de acuerdo con el mejor uso que se les pueda dar y obtener así el mayor provecho con un mínimo de deterioro del terreno.

Se usaron fotografías a escala 1:10.000, esteroscopio de espejo marca Wild, hoja topográfica escala 1:25.000 y proyector vertical marca Art-O-Graph, modelo 800, para la ampliación de los mapas.

Se hizo una fotointerpretación, con ayuda del esteroscopio, trazando por posiciones fisiográficas los límites de suelos, drenajes naturales y vías de comunicación, luego se salió al campo para comprobarlos y complementarlos.

Con el proyector vertical se amplió la zona estudiada de la hoja topográfica escala 1:25.000 a un papel escala 1:5.000 y sobre este último se pasaron las líneas de las fotografías aéreas.

Cada una de las diferentes unidades resultantes en el croquis se complementó con la información de los suelos obtenida en el campo, laboratorio e invernadero, sacando luego los resultados de potencialidad de cada unidad cartografiada.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación se presentan y discuten los resultados del estudio de campo, laboratorio e invernadero para los 10 diferentes suelos de la secuencia topográfica, empezando desde la parte baja, a orillas del Río Azul, hasta la cima.

Perfil 1

Localizado en el plano aluvial inundable. Es un suelo muy reciente, de topografía plana, con pendiente de 0-1 por ciento. En noviembre, cuando se tomaron las muestras de suelos, el nivel freático se encontraba a los 80 cm, pero varía con el cambio de estaciones secas y lluviosas.

Descripción del perfil y resultados de los análisis de laboratorio (cuadro 2)

| | |
|------------------------|--|
| 0 - 10 cm (capa 1) | Textura franco arenosa; color pardo amarillento (1OYR 4/4) en húmedo; sin estructura; consistencia muy friable en húmedo, no plástica y no pegajosa en mojado; abundante cantidad de raíces; medianamente ácido*. |
| 10 - 25 cm (capa 2) | Textura franco arcillo-arenosa; color gris oscuro (1OYR 3/1) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada, media a gruesa; consistencia friable |

* Acidez según la escala que aparece en el Manual de reconocimiento de suelos del USDA (60), este sistema se usará para los demás perfiles

en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente pegajosa en mojado; regular cantidad de raíces; ligeramente ácido.

25 - 40 cm Textura franco arenosa; color pardo amarillento oscuro (capa 3) (1OYR 3/4) en húmedo; estructura suelta; consistencia muy friable en húmedo, no plástica y no pegajosa en mojado; regular cantidad de raíces; medianamente ácido.

40 - 70 cm Textura franco arenosa; color pardo a pardo oscuro (capa 4) (1OYR 4/3) en húmedo; estructura suelta; consistencia muy friable en húmedo, no plástica y no pegajosa en mojado; escasa cantidad de raíces; ligeramente ácido.

70 - 85 cm Arenas + piedras (cantos rodados); no se observan (capa 5) raíces; nivel freático a los 80 cm. No se tomó muestra de la capa.

Discusión

Este perfil pertenece a los suelos aluviales jóvenes, situado en plano de inundación, sin características pedológicas desarrolladas. No tiene ninguna secuencia genética en sus horizontes, los cuales están definidos por procesos geomorfológicos y no por procesos genéticos.

En el trabajo de Dóndoli y Torres (16) aparecen como la Serie Reventazón, tipo arenoso, que se caracteriza por ser suelos más

Cuadro 2. Datos analíticos del suelo del plano inundable (véase Fig. 1)

Perfil No 1

Altura s.n.m. 612 m

| Profundidad cm | Porcentaje distribución de partículas | | | | Limo | Arcilla | Textura* | pH | | M.O. % |
|-------------------|---------------------------------------|-------------|------------|----------------|------|---------|----------|-------------------------|---------------------------|-----------|
| | Arena gruesa | Arena media | Arena fina | Arena muy fina | | | | H ₂ O 1:1 | CaCl ₂ 1:12 | |
| 0-10 | 4.4 | 18.8 | 11.0 | 24.1 | 10.9 | 14.8 | FA | 6.0 | 5.8 | 0.57 |
| 10-25 | 5.4 | 3.5 | 11.4 | 31.6 | 7.4 | 24.5 | FARA | 6.2 | 5.7 | 0.76 |
| 25-40 | 2.5 | 9.0 | 9.4 | 31.4 | 15.5 | 17.3 | FA | 6.0 | 5.7 | 1.38 |
| 40-70 | 7.1 | 20.2 | 16.4 | 28.7 | 11.9 | 13.2 | FA | 6.2 | 5.8 | 0.66 |

| Profundidad cm | C Orgánico % | N Total % | C/N | meq/100 g suelo | | | | P ppm | Oxidos libres | |
|-------------------|-----------------|--------------|-----|-----------------|------|------|-----|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | | | ClC | Ca | Mg | K | | Fe ₂ O ₃ % | Al ₂ O ₃ % |
| 0-10 | 0.23 | 0.03 | 8 | 46.0 | 37.9 | 19.3 | 0.9 | 5.7 | 2.70 | 1.42 |
| 10-25 | 0.44 | 0.23 | 2 | 47.0 | 34.4 | 11.5 | 1.3 | 4.0 | 3.20 | 1.30 |
| 25-40 | 0.80 | 0.10 | 8 | 40.5 | 24.4 | 6.6 | 0.4 | 1.8 | 3.20 | 1.42 |
| 40-70 | 0.38 | 0.06 | 6 | 33.5 | 23.9 | 6.2 | 0.6 | 5.7 | 3.10 | 1.42 |

* FA = Franco arenosa, FARA = Franco arcillo arenosa.

recientes, pedregosos, fácilmente inundables, constituidos por un perfil uniforme de arenas y cantos rodados.

En el cuadro 2 se observa que el contenido de arenas, a partir de la segunda capa, tiende a aumentar con la profundidad; los contenidos de óxidos libres de hierro y aluminio muestran poca variación entre las capas. La acidez entre las capas es casi la misma, siendo un poco mayor en cloruro de calcio, lo que se cumple también para todos los horizontes de los perfiles siguientes.

De acuerdo al cuadro 2, el calcio y el magnesio cambiables disminuyen con la profundidad, posiblemente debido a que sus carbonatos, en parte no solubilizados, son depositados en las capas superiores. Los niveles de potasio cambiabile son variables con la profundidad. La capacidad de intercambio catiónico tiende a disminuir, a excepción de la segunda capa de textura mediana. Tanto el contenido de materia orgánica como la relación C/N resultaron bajos.

Perfil 2

Localizado en la terraza más baja de un plano aluvial. Topografía casi plana, con pendiente de 1-3 por ciento; sin erosión ni pedregosidad superficial. La terraza se encuentra dedicada a pastos bastante enmalezados.

Descripción del perfil, resultados de los análisis de laboratorio
(Cuadro 3) y del ensayo de invernadero (Cuadros 4, 5)

- 0 - 15 cm Textura franco arcillo-arenosa; color pardo grisáceo
A₁ oscuro (10YR 4/2) en húmedo; estructura en bloques
 subangulares, moderada y media; consistencia friable
 en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente pegajosa
 en mojado; con piedras altamente meteorizadas;
 abundante cantidad de raíces; medianamente ácido.
- 15 - 50 cm Textura franco arcillo-arenosa; color pardo amarillento
B₁ oscuro (10YR 4/4) en húmedo, con manchas en proporción
 de 5 por ciento aproximadamente, finas, definidas
 y de color pardo fuerte (7.5YR 5/8); estructura
 en bloque subangulares, moderada y media; consistencia
 friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente
 pegajosa en mojado; piedra en estado avanzado
 de meteorización, en su mayoría cantos rodados; regular
 cantidad de raíces; medianamente ácido.
- 50 - 80 cm Textura franco arcillo-arenosa; color pardo grisáceo
B_{2h} muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo, con manchas finas,
 definidas, en cantidad inferior a un 10 por ciento, de
 color pardo fuerte (7.5YR 5/8); estructura en bloques
 subangulares, moderada y media; consistencia friable
 en húmedo, plástica y ligeramente pegajosa en mojado;
 menor cantidad de material parental en descomposición

que en el horizonte anterior; escasa cantidad de raíces; medianamente ácido.

80 - 120 cm Textura franco arcillo-arenosa; color pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo, con manchas finas y definidas en proporción del 20 por ciento y de color pardo fuerte (7.5YR 5/8); estructura granular, fina; consistencia muy friable en húmedo, ligeramente plástica y no pegajosa en mojado; presencia de cantos rodados; a los 105 cm aparece el nivel freático, el mismo horizonte continúa pero con mayor humedad; medianamente ácido.

En este horizonte la textura da la sensación de ser franco arenosa, pero a medida que se manipula la arena, pseudoarena (26), va desapareciendo para dar una textura más fina.

Discusión

En este perfil, de origen aluvial, se empiezan a diferenciar un poco los horizontes superficiales. Los materiales han sido expuestos mayormente a la acción de la meteorización y la eluviación e iluviación han sido superiores. Los horizontes más profundos tienden a aumentar en su contenido de arena, que en muchos casos resulta ser pseudoarena.

Cuadro 3. Datos analíticos del suelo de la terraza baja (véase Fig. 1).

Perfil No 2

Altura s.n.m. 615 m

| Profundidad cm | Porcentaje distribución de partículas | | | | Limo | Arcilla | Textura* | pH | | M.O. % |
|-------------------|---------------------------------------|-------------|------------|----------------|------|---------|----------|-------------------------|--------------------------|-----------|
| | Arena gruesa | Arena media | Arena fina | Arena muy fina | | | | H ₂ O 1:1 | CaCl ₂ 1:1 | |
| 0-15 | 4.6 | 8.3 | 4.0 | 17.8 | 9.8 | 20.9 | FARA | 5.5 | 4.9 | 3.55 |
| 15-50 | 2.8 | 5.5 | 3.7 | 17.4 | 14.2 | 27.1 | FARA | 6.0 | 5.3 | 0.92 |
| 50-80 | 4.3 | 5.7 | 3.9 | 14.4 | 17.2 | 22.7 | FARA | 5.9 | 5.6 | 1.41 |
| 80-120 | 5.4 | 10.8 | 6.4 | 22.0 | 4.5 | 26.1 | FARA | 5.6 | 5.5 | 1.00 |

| Profundidad cm | C Orgánico % | N Total % | meq/100 g suelo | | | | P ppm | Oxidos libres | | |
|-------------------|-----------------|--------------|-----------------|------|------|------|----------|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | | C/N | ClC | Ca | Mg | | K | Fe ₂ O ₃ % | Al ₂ O ₃ % |
| 0-15 | 2.06 | 0.25 | 8 | 54.6 | 32.9 | 14.4 | 0.8 | 1.1 | 4.20 | 1.65 |
| 15-50 | 0.53 | 0.10 | 5 | 55.7 | 39.9 | 14.0 | 0.4 | 0.4 | 3.20 | 2.48 |
| 50-80 | 0.82 | 0.08 | 10 | 55.0 | 40.9 | 11.1 | 0.3 | 0.4 | 3.70 | 1.77 |
| 80-120 | 0.58 | 0.08 | 7 | 54.5 | 39.4 | 11.5 | 0.8 | 0.4 | 3.70 | 1.77 |

* FARA = Franco arcillo-arenosa.

Cuadro 4. Peso seco (gramos) por maceta de las plantas de tomate, según diferentes tratamientos, ensayo de invernadero.

| | Tratamientos | | | | | | Completo |
|----------|--------------|---------|---------|---------|----------|-----------------|----------|
| | Testigo | Menos N | Menos P | Menos K | Menos Mg | Menos E.M.* y S | |
| Suelo | 0.4 | 4.6 | 0.5 | 5.3 | 5.8 | 1.8 | 5.9 |
| Subsuelo | 0.1 | 1.1 | 0.1 | 3.7 | 4.5 | 1.0 | 4.0 |

* E.M. = Elementos menores.

Cuadro 5. Interpretación de los resultados del cuadro 4.

| | Elementos conjuntos | N | P | K | Mg | E.M. y S |
|-----------------------------|---------------------|-----|------|-----|------|----------|
| Suelo | | | | | | |
| g peso seco* | 5.5 | 1.3 | 5.4 | 0.6 | 0.1 | 4.1 |
| % sobre menos el elemento** | 1350 | 28 | 1080 | 11 | 2 | 228 |
| % del completo*** | 92 | 22 | 92 | 10 | 2 | 70 |
| Subsuelo | | | | | | |
| g peso seco* | 3.9 | 2.9 | 3.9 | 0.3 | -0.5 | 3.0 |
| % sobre menos el elemento** | 3900 | 264 | 3900 | 8 | -11 | 300 |
| % del completo*** | 98 | 73 | 98 | 8 | -13 | 75 |

* Diferencia en gramos de peso seco al comparar la producción del tratamiento sin el elemento y del tratamiento completo.

** Incremento en peso seco sobre el tratamiento sin el elemento en cuestión, tomando como base de 100 al mismo tratamiento.

*** Incremento en peso seco sobre el tratamiento sin el elemento en cuestión tomando como base de 100 al tratamiento completo.

El tercer horizonte aparece con una coloración oscura, de características físicas y químicas no esperadas en un perfil bien desarrollado. En este horizonte se observa una acumulación de calcio intercambiable, materia orgánica y arcilla (cuadro 3) quizás como resultado de la lixiviación.

Dóndoli y Torres (16) anotan estos suelos como pertenecientes a la Serie La Margot y más propiamente a La Margot franco arcillo-arenosa, caracterizados por estar constituidos de depósitos aluviales que descansan sobre un aglomerado de piedras grandes.

Según el cuadro 3, el porcentaje de arcilla es mayor que el de limo y el de este mayor que el de la arena; sin embargo, la denominación textural de los horizontes no cambia, siendo siempre franco arcillo-arenosa. El pH en CaCl_2 tiende a aumentar con la profundidad, cuando se mide en agua no se encuentra una variación gradual. El nitrógeno total, el fósforo y el magnesio disminuyen a medida que se profundiza en el perfil; la capacidad de intercambio de cationes muestra ligeras variaciones en el perfil; el contenido de potasio disminuye con la profundidad, pero al llegar al horizonte más profundo aumenta en forma considerable. En el tercer horizonte los contenidos de carbón total, relación C/N y calcio tienden a ser altos.

En el cuadro 4, correspondiente a los resultados del ensayo de invernadero, se observa que en todos los tratamientos la producción del suelo fue siempre mayor a la del subsuelo. Como se ve en el cuadro 5, la mayor respuesta fue para la aplicación de fósforo; también hubo gran respuesta a la aplicación de elementos menores y

azufre, y un poco menor al nitrógeno. Las respuestas para el nitrógeno, fósforo azufre y elementos menores fueron mayores en el suelo que en el subsuelo y viceversa para el magnesio y potasio.

Perfil 3

Localizado en la terraza intermedia, con topografía casi plana y pendiente de 1-3 por ciento. Suelo bien drenado; erosión ligera a moderada; piedras y rocas superficiales de origen volcánico, que pueden alcanzar un metro de diámetro y que cubren aproximadamente un 15 por ciento del terreno. La terraza se encuentra dedicada a pastos y al cultivo del café.

Descripción del perfil y resultados de los análisis de laboratorio (cuadro 6)

| | |
|------------|---|
| 0 - 10 cm | Textura franco arcillo-arenosa; color pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente pegajosa en mojado; abundante cantidad de raíces; medianamente ácido. |
| 10 - 40 cm | Textura franco arcillo-arenosa; color pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente pegajosa en mojado; aparece en poca cantidad el material |

parental en proceso de meteorización; regular cantidad de raíces; medianamente ácido.

40 - 120 cm Textura franco arenosa; color pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; estructura granular, fina; consistencia suelta en húmedo, no plástica y no pegajosa en mojado; aparece material cascajoso en proceso de meteorización; escasa cantidad de raíces; medianamente ácido. El horizonte da una apariencia de arena con cascajo y piedras pequeñas.

120-140 cm Textura franco arcillo-arenosa; color pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, plástica y ligeramente pegajosa en mojado; aparece en mediana cantidad el material parental en proceso de meteorización; escasa cantidad de raíces; medianamente ácido.

140-160 cm Textura franco arcillo-arenosa; color pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, plástica y ligeramente pegajosa en mojado; mediana cantidad de material parental en proceso de meteorización*; no se encuentran raíces; medianamente ácido.

* Material que se ha ablandado por efecto de la meteorización, sin llegar a convertirse en polvo.

Cuadro 6. Datos analíticos del suelo de la terraza intermedia (véase Fig. 1).

Perfil No 3

Altura s.n.m. 620 m

| Profundidad cm | Porcentaje distribución de partículas | | | | | Limo | Arcilla | Textura* | pH | | M.O. % |
|-------------------|---------------------------------------|--------------|-------------|------------|----------------|------|---------|----------|----------------------|-----------------------|-----------|
| | Arena gruesa | Arena gruesa | Arena media | Arena fina | Arena muy fina | | | | H ₂ O 1:1 | CaCl ₂ 1:1 | |
| 0-10 | 8.1 | 9.6 | 7.5 | 16.5 | 21.3 | 12.1 | 24.9 | FARA | 6.0 | 5.6 | 10.01 |
| 10-40 | 9.7 | 16.0 | 8.5 | 21.1 | 9.7 | 14.0 | 21.0 | FARA | 5.8 | 5.6 | 1.42 |
| 40-120 | 15.1 | 20.1 | 11.5 | 21.0 | 5.5 | 9.8 | 17.0 | FA | 6.0 | 5.7 | 0.50 |
| 120-140 | 6.1 | 5.3 | 4.2 | 15.7 | 15.5 | 15.3 | 37.9 | FARA | 5.7 | 5.5 | 2.55 |
| 140-160 | 7.7 | 7.9 | 4.7 | 17.1 | 10.0 | 23.2 | 29.4 | FARA | 5.9 | 5.6 | 1.38 |
| 160-180 | 10.7 | 10.5 | 5.5 | 15.7 | 12.4 | 18.9 | 26.3 | FARA | 5.8 | 5.6 | 0.83 |

| Profundidad cm | C Organico % | N Total % | C/N | meq/100 g suelo | | | P ppm | Oxidos libres | |
|-------------------|--------------|-----------|-----|-----------------|------|------|-------|---------------|----------------------------------|
| | | | | ClC | Ca | Mg | | K | Fe ₂ O ₃ % |
| 0-10 | 2.89 | 0.46 | 6 | 58.5 | 43.4 | 10.3 | 2.2 | 2.90 | 1.77 |
| 10-40 | 0.82 | 0.11 | 8 | 54.5 | 40.9 | 11.1 | 1.1 | 2.50 | 1.53 |
| 40-120 | 0.29 | 0.03 | 10 | 52.5 | 41.9 | 5.8 | 0.3 | 2.50 | 1.65 |
| 120-140 | 1.48 | 0.15 | 10 | 52.5 | 36.4 | 4.1 | 0.1 | 6.71 | 1.89 |
| 140-160 | 0.80 | 0.09 | 9 | 62.0 | 46.4 | 5.3 | 0.1 | 6.71 | 1.65 |
| 160-180 | 0.48 | 0.06 | 8 | 60.5 | 38.9 | 5.3 | 0.1 | 4.90 | 3.19 |

* FA = Franco arenosa, FARA = Franco arcillo arenosa.

160-180 cm Textura franco arcillo-arenosa; color pardo oscuro a
C_b pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2.5) en húmedo; las de-
 más características son similares al horizonte ante-
 rior.

Del cuarto horizonte en adelante, representa un perfil ente-
rrado. El perfil superior se ha formado de materiales aluviales y
coluviales mezclados. Los colores del perfil sepultado son más os-
curos que los del perfil superior.

Discusión

Para mejor comprensión se puede dividir el perfil en dos sub-
perfiles: a) Compuesto de los tres primeros horizontes y b) Com-
puesto por los tres horizontes profundos (perfil enterrado).

Al considerar solamente el perfil enterrado se nota la simi-
litud con la Serie La Margot, descrita por Dóndoli y Torres (16),
caracterizada por ser suelos recientes, pedregosos, constituidos
por arenas y cantos rodados, aunque en este caso no se pueden
inundar.

El perfil superior está formado por deposiciones recientes de
materiales de los suelos más elevados y acarreados por la acción
de la gravedad y principalmente por la escorrentía.

Al relacionar los resultados, separadamente, de estos dos
perfiles se observa que (cuadro 6) los contenidos de arcilla son
más altos en el perfil enterrado y de manera general disminuyen con
la profundidad, igual sucede para los contenidos de limo. El pH en

cloruro de calcio, aunque menor que en agua guarda una mejor distribución gradual en sus horizontes y guarda ligera relación con los contenidos de nitrógeno y carbono, siendo un poco más ácido el perfil enterrado. El nitrógeno, hierro libre y carbono disminuyen en cada subperfil a medida que se profundiza; en el caso del hierro las cantidades son menores en el subperfil superior. La relación C/N en el subperfil superficial aumenta con la profundidad, mientras que en el perfil enterrado disminuye.

Los contenidos de calcio intercambiable (cuadro 6) en los horizontes son elevados, siendo un poco mayor en el subperfil superficial, donde la variación en los tres horizontes es menor que en los horizontes del segundo subperfil. El magnesio intercambiable es mayor en el subperfil superficial y disminuye con la profundidad, en cambio en el perfil enterrado aumenta. Tomando los dos subperfiles como un conjunto, el fósforo y el potasio disminuyen con la profundidad, en tanto que el aluminio permanece constante, sufriendo solamente un aumento en el último horizonte.

Según informaciones de agricultores de la zona, el cultivo ha sido abonado con residuos del café, no habiéndose agregado abonos químicos; no obstante, los resultados de fósforo aprovechable denotan una fuerte fertilización.

Perfil 4

Localizado en área de relieve moderadamente inclinado, intermedia entre dos terrazas, con pendiente de 3-7 por ciento; suelo

bien drenado con piedras y rocas superficiales de origen volcánico, que pueden alcanzar un diámetro de 80 cm y cubren aproximadamente un 20 por ciento del terreno.

Descripción del perfil y resultados de los análisis de laboratorio

(cuadro 7)

| | |
|-------------------------------|---|
| 0 - 30 cm A ₁ | Textura franco arcillo-arenosa; color pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente pegajosa en mojado; aparecen piedras en aproximadamente 10 por ciento en avanzado proceso de meteorización; abundante cantidad de raíces; fuertemente ácido. |
| 30 - 60 cm A/C | Textura franco arcillo-arenosa; color pardo oscuro a pardo (10YR 4/3) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente pegajosa en mojado; aparecen piedras en aproximadamente un 15 por ciento en avanzado proceso de meteorización; regular cantidad de raíces; muy fuertemente ácido. |
| 60 - 100 cm C ₁ | Textura franco arcillo-arenosa; color pardo amarillento oscuro a pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia muy friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente pegajosa en mojado; mediana |

cantidad (aproximadamente 25%) de material parental en proceso de meteorización; escasa cantidad de raíces; fuertemente ácido.

100-140 cm Textura franco arcillo-arenosa; color pardo rojizo
C₂ a rojo amarillento (5YR 4/5) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia muy friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente pegajosa en mojado; aparece piedra en aproximadamente 10 por ciento en avanzado proceso de meteorización; escasa cantidad de raíces; fuertemente ácido.

140-155 cm Textura franco arcillo-arenosa; color rojo amarillento
C₃ (5YR 4/8) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, plástica y pegajosa en mojado; se encuentra poca piedra (menos de 10%) en avanzado proceso de meteorización; no se observan raíces; medianamente ácido.

Los horizontes tercero, cuarto y quinto poseen muchas piedras en proceso avanzado de meteorización, que van disminuyendo en cantidad a medida que se profundiza, por lo cual se sugiere que son materiales aluviales o coluviales y no parte de la roca subyacente.

Discusión

Este perfil, representa un suelo poco más desarrollado que los anteriores; la coloración del suelo se hace más clara a medida que

Cuadro 7. Datos analíticos del suelo del área inclinada, entre dos terrazas (véase Fig. 1).

Perfil No 4

Altura s.n.m. 625 m

| Profundidad cm | Porcentaje distribución de partículas | | | | | Limo | Arcilla | Textura* | pH | | M.O. % |
|-------------------|---------------------------------------|-------------|------------|----------------|--------------|------|---------|----------|----------------------|-----------------------|-----------|
| | Arena gruesa | Arena media | Arena fina | Arena muy fina | Arena gruesa | | | | H ₂ O 1:1 | CaCl ₂ 1:1 | |
| 0-30 | 5.0 | 6.8 | 4.8 | 12.7 | 16.6 | 20.1 | 34.0 | FARA | 5.4 | 4.8 | 4.71 |
| 30-60 | 8.1 | 13.1 | 5.8 | 16.0 | 13.1 | 18.3 | 25.6 | FARA | 5.0 | 4.7 | 0.90 |
| 60-100 | 10.1 | 14.4 | 6.4 | 17.1 | 7.1 | 19.5 | 25.4 | FARA | 5.3 | 4.7 | 0.35 |
| 100-140 | 7.7 | 10.7 | 4.8 | 20.9 | 3.0 | 27.2 | 25.7 | FARA | 5.5 | 5.2 | 0.28 |
| 140-155 | 4.5 | 10.8 | 6.2 | 19.7 | 5.9 | 29.5 | 23.4 | FARA | 5.6 | 5.3 | 0.24 |

| Profundidad cm | C Organico % | N Total % | C/N | meq/100 g suelo | | | P ppm | Oxidos Libres | | |
|-------------------|-----------------|--------------|-----|-----------------|------|------|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|------|
| | | | | ClC | Ca | Mg | | Fe ₂ O ₃ % | Al ₂ O ₃ % | |
| 0-30 | 2.73 | 0.32 | 9 | 53.5 | 22.0 | 10.7 | 0.5 | 1.9 | 5.51 | 1.77 |
| 30-60 | 0.52 | 0.08 | 7 | 56.0 | 24.0 | 16.4 | 0.1 | 0.2 | 4.70 | 2.24 |
| 60-100 | 0.20 | 0.05 | 4 | 59.0 | 26.9 | 19.7 | 0.1 | 0.8 | 3.70 | 1.18 |
| 100-140 | 0.16 | 0.05 | 3 | 53.5 | 23.0 | 17.7 | 0.1 | 0.6 | 4.50 | 2.36 |
| 140-155 | 0.14 | 0.04 | 3 | 58.0 | 25.9 | 15.2 | 0.1 | 0.8 | 5.70 | 2.48 |

* FARA = Franco arcillo arenosa.

se profundiza. Aunque poco, se asemeja a la Serie La Margot descrita por Dóndoli y Torres (16).

En el cuadro 7 se observa que el contenido de arcilla disminuye con la profundidad, aunque siempre se conserva la textura franco arcillo-arenosa. En general, el contenido de limo aumenta, pero no en forma constante. Tanto en agua como en cloruro de calcio el pH tiende a aumentar con la profundidad.

En el cuadro 7 se muestra también una disminución de nitrógeno, carbono, relación C/N y potasio, con la profundidad. La capacidad de cambio y el calcio cambiante tienen ligeras variaciones, siendo mayores para el tercer horizonte. El contenido de óxido de aluminio aumenta con la profundidad, mientras que el óxido de hierro sufre poca variación, pero al llegar al tercer horizonte, ocurre una disminución considerable de estos compuestos y un aumento de las bases cambiantes. El contenido de fósforo no tiene variación gradual, ni es tan bajo como en los demás perfiles a excepción del anterior (perfil 3) donde posiblemente ha habido una fertilización.

Perfil 5

Localizado en la terraza alta; relieve casi plano, con pendiente de 1-3 por ciento; suelos bien drenados con ligera erosión. Se encuentran piedras de origen volcánico y algunas calcáreas, cubriendo aproximadamente el 10 por ciento de la superficie y que pueden alcanzar hasta 30 cm de diámetro. Esta terraza se encuentra cubierta de pasto natural bastante enmalezado.

Descripción del perfil, resultado de los análisis de laboratorio
(cuadro 8) y del ensayo de invernadero (cuadros 9 y 10)

- 0 - 10 cm Textura franco arcillosa; color pardo grisáceo muy
A₁ oscuro (10YR 3/2) en húmedo; estructura en bloques
 subangulares, moderada y fina; consistencia friable en
 húmedo, ligeramente plástica y ligeramente pegajosa
 en mojado; abundante cantidad de raíces; fuertemente
 ácido.
- 10 - 30 cm Textura franco arcillo-arenosa; color pardo oscuro
C (10YR 3/3) en húmedo; estructura en bloques subangula
 res, moderada y media; consistencia friable en húmedo,
 ligeramente plástica y ligeramente pegajosa en mojado;
 regular cantidad de raíces; medianamente ácido.
- 30 - 55 cm Textura franco arcillosa; color pardo muy oscuro
A_{1b} (10YR 2/2) en húmedo; estructura en bloques subangu
 lares, moderada y media; consistencia friable en hú
 medo, ligeramente plástica y ligeramente pegajosa en
 mojado; regular cantidad de raíces; fuertemente ácido.
- 55 - 80 cm Textura franco arcillo-arenosa; color pardo a pardo
A_{3b} oscuro (10YR 3/4) en húmedo, con manchas medias, defi
 nidas, de color pardo fuerte (7.5YR 5/8) en aproxima
 damente un 20 por ciento, además 25 por ciento de man
 chas grises (5Y 5/1); estructura en bloques subangula
 res, moderada y media; consistencia friable en húmedo,

plástica y ligeramente pegajosa en mojado; aparece un poco de material parental en proceso avanzado de meteorización que posiblemente ha dado al horizonte la coloración moteada; escasa cantidad de raíces; muy fuertemente ácido.

80 - 110 cm Textura franco arcillo-arenosa; color pardo a pardo
C_b oscuro (7.5YR 4/4) en húmedo y las mismas manchas del horizonte anterior, pero en menor proporción; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, plástica y ligeramente pegajosa en mojado; aparece el mismo material meteorizado del horizonte anterior; no se encuentran raíces, muy fuertemente ácido.

Los tres primeros horizontes son muy similares y en ellos aparecen cantos rodados de origen volcánico, con diámetro menor a 25 cm que se acumulan mayormente en el segundo horizonte. Los dos primeros horizontes parecen sepultar a los tres últimos, posiblemente por ser un material coluvial depositado recientemente. Los tres últimos horizontes son similares a los horizontes superficiales del perfil anterior, pareciendo estos tres un poco más viejos y más meteorizados.

Discusión

De acuerdo al color de los horizontes se puede deducir que el suelo estaba formado por los horizontes tercero, cuarto y quinto

Cuadro 8. Datos analíticos del suelo de la terraza alta (véase Fig. 1).

Perfil N^o 5

Altura s.n.m. 630 m

| Profundidad cm | Porcentaje distribución de partículas | | | | | | Limo | Arcilla | Textura* | pH | | M.O. % |
|-------------------|---------------------------------------|--------------------|------------|------------|----------------|---------|------|---------|----------|----------------------|-----------------------|-----------|
| | Arena gruesa | Arena gruesa media | Arena fina | Arena fina | Arena muy fina | Arcilla | | | | H ₂ O 1:1 | CaCl ₂ 1:1 | |
| 0-10 | 3.8 | 6.6 | 4.5 | 13.5 | 9.4 | 35.0 | 27.2 | FAR | 5.5 | 5.1 | 7.86 | |
| 10-30 | 5.0 | 8.1 | 5.1 | 15.6 | 17.3 | 27.7 | 21.2 | FARA | 5.9 | 4.8 | 2.52 | |
| 30-55 | 4.9 | 6.7 | 5.0 | 14.4 | 12.0 | 32.0 | 25.0 | FAR | 5.2 | 4.7 | 2.42 | |
| 55-80 | 5.1 | 9.5 | 6.1 | 15.3 | 11.5 | 28.6 | 23.9 | FARA | 4.9 | 4.6 | 0.35 | |
| 80-110 | 8.9 | 10.5 | 6.5 | 15.9 | 10.8 | 24.4 | 23.0 | FARA | 4.9 | 4.7 | 0.24 | |

| Profundidad cm | C Orgánico % | N Total % | C/N | meq/100 g suelo | | | | P ppm | Oxidos libres | |
|-------------------|--------------|-----------|-----|-----------------|------|------|-----|-------|----------------------------------|----------------------------------|
| | | | | ClC | Ca | Mg | K | | Fe ₂ O ₃ % | Al ₂ O ₃ % |
| 0-10 | 2.27 | 0.43 | 5 | 53.5 | 23.5 | 14.0 | 1.3 | 7.0 | 6.51 | 1.53 |
| 10-30 | 1.46 | 0.18 | 8 | 50.5 | 23.0 | 13.2 | 0.4 | 0.6 | 6.51 | 1.77 |
| 30-55 | 1.40 | 0.16 | 9 | 51.0 | 21.0 | 12.7 | 0.2 | 0.5 | 7.81 | 2.00 |
| 55-80 | 0.20 | 0.06 | 3 | 57.0 | 19.5 | 18.5 | 0.2 | 0.2 | 9.28 | 1.89 |
| 80-110 | 0.14 | 0.05 | 3 | 59.0 | 20.5 | 20.6 | 0.1 | 0.2 | 4.50 | 4.72 |

* FAR = Franco arcillosa, FARA = Franco arcillo-arenosa.

Cuadro 9. Peso seco (gramos) por maceta de las plantas de tomate, según diferentes tratamientos, ensayo de invernadero.

| | Tratamientos | | | | | | Completo |
|----------|--------------|---------|---------|---------|----------|-----------------|----------|
| | Testigo | Menos N | Menos P | Menos K | Menos Mg | Menos E.M.* y S | |
| Suelo | 0.7 | 2.1 | 0.9 | 5.9 | 5.9 | 3.8 | 5.7 |
| Subsuelo | 0.1 | 0.5 | 0.1 | 2.3 | 3.1 | 0.5 | 3.2 |

*E.M. = Elementos menores.

Cuadro 10. Interpretación de los resultados del cuadro 9.

| | Elementos conjuntos | N | P | K | Mg | E.M. y S |
|-----------------------------|---------------------|-----|------|------|------|----------|
| Suelo | | | | | | |
| g peso seco* | 5.0 | 3.6 | 4.8 | -0.2 | -0.2 | 1.9 |
| % sobre menos el elemento** | 715 | 171 | 534 | -3 | -3 | 50 |
| % del completo*** | 88 | 63 | 84 | -4 | -4 | 33 |
| Subsuelo | | | | | | |
| g peso seco* | 3.1 | 2.7 | 3.1 | 0.9 | 0.1 | 2.7 |
| % sobre menos el elemento** | 3100 | 540 | 3100 | 39 | 3 | 540 |
| % del completo*** | 97 | 85 | 97 | 28 | 3 | 85 |

* Diferencia en gramos de peso seco al comparar la producción del tratamiento sin el elemento y del tratamiento completo.

** Incremento en peso seco sobre el tratamiento sin el elemento en cuestión, tomando como base de 100 al mismo tratamiento.

*** Incremento en peso seco sobre el tratamiento sin el elemento en cuestión, tomando como base de 100 al tratamiento completo.

y que luego por acción de la gravedad y de la escorrentía fueron depositados los dos horizontes superficiales que sepultaron al suelo original.

Los suelos que representan este perfil están clasificados como Serie La Margot franco arcillo-arenosa, fase coluvial (16) que constituyen una pequeña área al pie de las lomas donde aumenta la pedregosidad superficial y se notan materiales depositados de las laderas vecinas pertenecientes a los suelos "Misceláneos".

Al observar el cuadro 8, se ve que las fracciones de arenas aumentan con la disminución del diámetro. Los contenidos de limo y arcilla tienden a disminuir con la profundidad. El pH al igual que el nitrógeno, carbono, fósforo, potasio y calcio disminuyen con la profundidad. En el perfil original, tres últimos horizontes del cuadro 8, se observa un aumento de arenas, capacidad de intercambio catiónico y magnesio, y la disminución de limo, arcilla, pH en agua y relación C/N, a medida que se profundiza. El contenido de óxido de hierro libre aumenta con la profundidad, pero al llegar al último horizonte sufre una considerable baja, en cambio el óxido de aluminio libre alcanza su máximo contenido en este horizonte, debido posiblemente a la composición química del material parental.

Los ensayos de invernadero (cuadros 9 y 10) muestran que la producción del suelo fue mayor que la del subsuelo. En ambos casos ocurrió una gran respuesta al fósforo; también se obtuvo respuesta a la aplicación de nitrógeno, elementos menores y azufre. El potasio y el magnesio no dieron respuesta en el suelo y la menor

respuesta en el subsuelo se obtuvo a la aplicación de magnesio, se guida por la aplicación de potasio, lo que está en acuerdo con las cantidades apreciables encontradas y reportadas en el cuadro 8.

Perfil 6

Localizado en pie de monte, sobre material derrumbado, con relieve fuertemente quebrado y pendiente de 25-50 por ciento. Sue los bien drenados, con moderada erosión y cubiertos de pastos naturales con abundante maleza. Se encuentran piedras de origen volcánico hasta de 100 cm de diámetro, cubriendo aproximadamente un 30 por ciento de la superficie. Su descripción y la toma de muestras para análisis de laboratorio y ensayos de invernadero se hicieron con el fin de reforzar el estudio de la zona coluvial, por tal razón aparece en el mapa localizado a un lado de la línea de la secuencia topográfica.

Descripción del perfil, resultados de los análisis de laboratorio (cuadro 11) y del ensayo de invernadero (cuadros 12, 13)

| | |
|----------------|--|
| 0 - 10 cm | Textura franco arcillosa; color pardo grisáceo oscuro |
| A ₁ | (10YR 4/2) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente pegajosa en mojado; se encuentran piedras pequeñas en poca cantidad; abundante cantidad de raíces; fuertemente ácido. |

- 10 - 30 cm Textura franco arcillosa; color pardo a pardo oscuro
C₁ (10YR 4/3) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástica y pegajosa en mojado; pocas piedras altamente meteorizadas; regular cantidad de raíces; fuertemente ácido.
- 30 - 105 cm Textura franco arcillosa; color pardo amarillento
C₂ (10YR 5/8) en húmedo; estructura en bloques angulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, no plástica y ligeramente pegajosa en mojado; abundante roca en proceso de meteorización; escasa cantidad de raíces; muy fuertemente ácido.

Se encuentran piedras a lo largo del perfil de diámetro menor de 5 cm. Es un perfil poco desarrollado, con mucho material en proceso avanzado de meteorización. Este suelo ha sido rejuvenecido por la deposición de nuevos materiales coluviales, posiblemente debidos a derrumbes durante la estación lluviosa.

Discusión

Estos suelos pertenecen a la Serie La Margot, fase influenciada, descrita por Dóndoli y Torres (16), caracterizada por la influencia de los materiales caídos de las laderas, pertenecientes a suelos descritos como "Misceláneos". Los colores en el perfil se hacen más claros a medida que se profundiza, variando desde pardo grisáceo oscuro hasta pardo amarillento.

Cuadro 11. Datos analíticos del suelo coluvial (véase Fig. 1).

Perfil Nº 6

Altura s.n.m. 645 m.

| Profundidad cm | Porcentaje distribución de partículas | | | | | | Limo | Arcilla | Textura* | pH | | M.O. % |
|-------------------|---------------------------------------|----------------|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|------|---------|----------|-------------------------|--------------------------|-----------|
| | Arena gruesa | Arena media | Arena fina | Arena muy fina | Arena muy fina | Arena muy fina | | | | H ₂ O 1:1 | CaCl ₂ 1:1 | |
| 0-10 | 4.2 | 5.5 | 4.0 | 15.5 | 8.3 | 31.9 | 30.6 | FAr | 5.4 | 5.0 | 6.31 | |
| 10-30 | 4.0 | 3.6 | 2.2 | 15.4 | 15.1 | 29.0 | 30.7 | FAr | 5.1 | 4.8 | 2.42 | |
| 30-105 | 10.3 | 8.7 | 6.0 | 15.8 | 1.4 | 29.5 | 28.3 | FAr | 5.0 | 4.9 | 0.26 | |

| Profundidad cm | C % | Orgánico % | N % | Total % | C/N | meq/100 g suelo | | | P ppm | Oxidos libres | |
|-------------------|--------|---------------|--------|------------|------|-----------------|-----|-----|----------|---------------|-------------------------------------|
| | | | | | | ClC | Ca | Mg | | K | Fe ₂ O ₃ % |
| 0-10 | 3.65 | 0.41 | 9 | 65.0 | 24.9 | 15.2 | 0.6 | 0.2 | 7.41 | 4.72 | |
| 10-30 | 1.40 | 0.17 | 8 | 65.5 | 30.9 | 19.7 | 0.2 | 0.5 | 6.51 | 6.02 | |
| 30-105 | 0.15 | 0.06 | 3 | 77.5 | 31.9 | 24.7 | 0.1 | 0.4 | 5.01 | 6.97 | |

* FAr = Franco arcillosa.

Cuadro 12. Peso seco (gramos) por maceta de las plantas de tomate, según diferentes tratamientos, ensayo de invernadero.

| | Tratamientos | | | | | | |
|----------|--------------|---------|---------|---------|----------|-----------------|----------|
| | Testigo | Menos N | Menos P | Menos K | Menos Mg | Menos E.M.* y S | Completo |
| Suelo | 0.4 | 6.3 | 0.2 | 6.5 | 6.4 | 2.5 | 7.0 |
| Subsuelo | 0.1 | 0.9 | 0.1 | 1.6 | 3.3 | 0.8 | 3.6 |

* E.M. = Elementos menores

Cuadro 13. Interpretación de los resultados del cuadro 12.

| | Elementos conjuntos | N | P | K | Mg | E.M. y S |
|-----------------------------|---------------------|-----|------|-----|-----|----------|
| Suelo | | | | | | |
| g peso seco* | 6.6 | 0.7 | 6.8 | 0.5 | 0.6 | 4.5 |
| % sobre menos el elemento** | 1650 | 11 | 3400 | 8 | 9 | 180 |
| % del completo*** | 94 | 10 | 97 | 7 | 9 | 64 |
| Subsuelo | | | | | | |
| g peso seco* | 3.5 | 2.7 | 3.5 | 2.0 | 0.3 | 2.8 |
| % sobre menos el elemento** | 3500 | 300 | 3500 | 125 | 9 | 350 |
| % del completo*** | 97 | 75 | 97 | 60 | 5 | 78 |

* Diferencia en gramos de peso seco al comparar la producción del tratamiento sin el elemento y del tratamiento completo.

** Incremento en peso seco sobre el tratamiento sin el elemento en cuestión, tomando como base de 100 al mismo tratamiento.

*** Incremento en peso seco sobre el tratamiento sin el elemento en cuestión, tomando como base de 100 al tratamiento completo.

Según el cuadro 11, los contenidos de arena, limo y arcilla permanecen constantes en los tres horizontes; las cantidades de arena fina y arena muy fina son mayores que las cantidades de arenas gruesas, muy gruesas y medias. La acidez en cloruro de calcio es un poco mayor que en agua, tendiendo a aumentar más uniformemente con la profundidad, cuando se toma en dilución acuosa. El pH, nitrógeno total, carbón total, relación C/N, potasio aprovechable y óxido de hierro libre, disminuyen con la profundidad; la capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio y óxido de aluminio aumentan a medida que se profundiza. El fósforo aprovechable es menor en el primer horizonte.

En los resultados del ensayo de invernadero, cuadro 12, el suelo produjo más que el subsuelo para todos los tratamientos. Las plantas, tanto en el suelo como en el subsuelo (Cuadro 13), respondieron a la aplicación de fósforo, seguido de los elementos menores y azufre; como se ve en el cuadro 11 el contenido de fósforo aprovechable en el suelo es bajo, lo que está de acuerdo con la respuesta en el ensayo de invernadero. El suelo respondió poco a la aplicación de potasio y nitrógeno, mientras que en el subsuelo la respuesta fue relativamente buena al nitrógeno y al potasio, debido a los bajos niveles del nitrógeno en la materia orgánica y al potasio cambiante (cuadro 11).

Perfil 7

Localizado en ladera de montaña con declive cóncavo, relieve escarpado y pendiente mayor de 50 por ciento. Son suelos bien drenados, con severa erosión y piedras y rocas superficiales en aproximadamente un 20 por ciento, algunas reaccionan al ácido clorhídrico y pueden alcanzar un diámetro de 100 cm, también se observan afloramientos de roca calcárea. La superficie está cubierta de pasto natural, donde abunda la maleza.

Descripción del perfil y resultados de los análisis de laboratorio (cuadro 14)

| | |
|----------------|---|
| 0 - 10 cm | Textura arcillosa; color pardo grisáceo muy oscuro |
| A ₁ | (1OYR 3/2) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente pegajosa en mojado; abundante cantidad de raíces; ligeramente ácido. |
| 10 - 40 cm | Textura arcillosa; color pardo oscuro (1OYR 3/3) en |
| A/C | húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente pegajosa en mojado; regular cantidad de raíces; ligeramente ácido. |
| 40 - 80 cm | Textura arcillosa; color pardo grisáceo oscuro (1OYR |
| C ₁ | 4/2) en húmedo; estructura en bloques subangulares, |

moderada y media; consistencia friable en húmedo, plástica y pegajosa en mojado; se encuentra material parental en avanzado proceso de meteorización; escasa cantidad de raíces; neutro.

80 - 120 cm Este horizonte se caracteriza por la abundancia de material parental, más del 70 por ciento consistente en rocas moderadamente meteorizadas. Se tomó el escaso suelo existente entre el material parental, no siendo posible observar las demás características. El suelo aparece de un color pardo amarillento a pardo rojizo; medianamente alcalino.

Se encuentran muy pocas y pequeñas piedras en proceso de meteorización a lo largo del perfil, aumentando en forma considerable en el cuarto horizonte; no reaccionan al ácido clorhídrico.

Discusión

Debido a la pendiente excesiva, mayor del 50 por ciento, estos suelos están expuestos a un rejuvenecimiento constante por acción de la erosión; por tal razón son poco desarrollados y la mayoría de las características físicas y químicas no guardan variación gradual.

Los colores de los tres primeros horizontes se hacen un poco menos oscuros a medida que se profundiza, el cuarto horizonte se vuelve más amarillento.

Cuadro 14. Datos analíticos del suelo en ladera, con roca calcárea (véase Fig. 1).

Perfil N^o 7

Altura s.n.m. 655 m

| Profundidad cm | Porcentaje distribución de partículas | | | | | | Textura* | pH | | M.O. % |
|-------------------|---------------------------------------|-------------|------------|----------------|------|---------|----------|----------------------|-----------------------|-----------|
| | Arena gruesa | Arena media | Arena fina | Arena muy fina | Limo | Arcilla | | H ₂ O 1:1 | CaCl ₂ 1:1 | |
| 0-10 | 0.0 | 1.6 | 1.7 | 7.1 | 11.1 | 16.3 | Ar | 6.5 | 5.8 | 8.97 |
| 10-40 | 0.0 | 1.0 | 0.8 | 4.5 | 3.5 | 20.5 | Ar | 6.5 | 5.7 | 1.76 |
| 40-80 | 0.3 | 1.5 | 1.5 | 6.9 | 2.1 | 28.9 | Ar | 6.7 | 6.0 | 0.62 |
| 80-120 | 12.3 | 10.5 | 6.2 | 17.8 | 4.4 | 20.0 | FARA | 7.6 | 6.5 | 0.17 |

| Profundidad cm | C Orgánico % | N Total % | C/N | meq/100 g suelo | | | P ppm | Oxidos Libres | |
|-------------------|-----------------|--------------|-----|-----------------|------|-----|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | | | Ca | Mg | K | | Fe ₂ O ₃ % | Al ₂ O ₃ % |
| 0-10 | 2.59 | 0.54 | 5 | 70.2 | 49.9 | 8.6 | 1.6 | 8.11 | 3.07 |
| 10-40 | 1.02 | 0.15 | 7 | 68.0 | 49.9 | 5.8 | 0.6 | 9.61 | 1.77 |
| 40-80 | 0.36 | 0.08 | 5 | 68.0 | 49.9 | 6.2 | 0.2 | 9.41 | 1.65 |
| 80-120 | 0.10 | 0.04 | 3 | 70.5 | 49.9 | 4.1 | 0.1 | 4.50 | 1.65 |

* Ar = Arcillosa, FARA = Franco arcillo-arenosa.

Los suelos representativos de este perfil, aunque están cartografiados por Dóndoli y Torres (16) como suelos "Misceláneos" se asemejan a la Serie Ventura, caracterizada por lo escarpado de su topografía, el color amarillento y lo relativamente delgado del subsuelo.

En el cuadro 14, se observan altas cantidades de arcillas en los horizontes, que tienden a disminuir con la profundidad, no obstante en el primer horizonte el contenido es un poco menor que en el segundo; en cambio el contenido de limo permanece con pocas variaciones, excepto en el tercer horizonte donde hay un aumento apreciable. Los contenidos de las diferentes fracciones de arena tienden a aumentar con la disminución del tamaño de las partículas; el cuarto horizonte es el más arenoso, siendo su textura franco arcillo-arenosa; los demás horizontes, que contienen más arcilla, son de textura arcillosa.

La acidez en cloruro de calcio fue mayor que en agua y el pH tuvo un aumento constante con la profundidad. La acidez, nitrógeno, carbono, potasio, magnesio y óxido de aluminio disminuyen con la profundidad. Este es el perfil con mayor cantidad de calcio, debido a las afloraciones calcáreas y piedras sueltas, también calcáreas, que se encuentran en la zona. La relación C/N, contenido de fósforo disponible y óxido de hierro disminuyen con la profundidad, a partir del segundo horizonte.

Perfil 8

Localizado en ladera de montaña. Suelo de relieve escarpado, con pendiente mayor del 50 por ciento, bien drenado, erosión severa, piedras y rocas superficiales en aproximadamente un 10 por ciento y cubierto de pasto donde abunda la maleza.

Descripción del perfil, resultados de los análisis de laboratorio (cuadro 15) y del ensayo de invernadero (cuadros 16, 17)

- 0 - 30 cm Textura arcillosa; color pardo grisáceo oscuro (1OYR A₁ 4/2) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, plástica y pegajosa en mojado; regular cantidad de raíces; medianamente ácido.
- 30 - 60 cm Textura arcillosa; color pardo a pardo oscuro (1OYR A/C 4/3) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, plástica y pegajosa en mojado; escasa cantidad de raíces; medianamente ácido.
- 60 - 100 cm Textura arcillosa; color pardo amarillento oscuro C₁ (1OYR 4/4) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente pegajosa en mojado; se encuentra material parental en avanzado proceso de meteorización; escasa cantidad de raíces; fuertemente ácido.

100-135 cm Textura franco arcillo-arenosa; color pardo rojizo
C₂ (5YR 4/4) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia firme en húmedo, plástica y pegajosa en mojado; abundante cantidad de material parental de tamaño pequeño, parcialmente meteorizado, que da el color amarillento al suelo; no se observan raíces; medianamente ácido.

A los 135 cm aparece la roca madre.

Discusión

En este perfil hay una diferenciación mejor de los horizontes que en los perfiles anteriores. La coloración se vuelve más amarillenta y rojiza con la profundidad, variando desde un pardo grisáceo oscuro en la superficie, siguiendo luego pardo oscuro, pardo amarillento, hasta un pardo rojizo en el horizonte más profundo.

Los suelos del perfil están cartografiados por Dóndoli y Torres (16) como "Misceláneos", pero se asemejan a la Serie Ventura, caracterizada por ser suelos escarpados, coloración pardo amarillenta y lo relativamente delgado del subsuelo; son suelos en proceso de lateritización.

En el cuadro 15 se observan los contenidos constantes de arena total, limo y arcilla en los horizontes, excepto en el cuarto donde ocurre una disminución considerable de limo y arcilla, y un aumento de arenas, debido a la meteorización más o menos avanzada. Las texturas son finas en los tres primeros horizontes y se hace

Cuadro 15. Datos analíticos del suelo en ladera (véase Fig. 1).

Perfil No 8

Altura s.n.m. 690 m

| Profundidad cm | Porcentaje distribución de partículas | | | | | | | Textura* | pH | | M.O. % |
|-------------------|---------------------------------------|-------------|------------|----------------|------|---------|-------------------------|----------|--------------------------|-----|-----------|
| | Arena gruesa | Arena media | Arena fina | Arena muy fina | Limo | Arcilla | H ₂ O 1:1 | | CaCl ₂ 1:1 | | |
| 0-30 | 0.8 | 2.3 | 2.2 | 9.2 | 4.2 | 27.8 | 53.5 | Ar | 5.8 | 5.0 | 3.88 |
| 30-60 | 0.6 | 3.2 | 2.7 | 8.6 | 4.2 | 28.8 | 51.9 | Ar | 5.8 | 4.8 | 1.48 |
| 60-100 | 0.4 | 2.5 | 4.1 | 9.8 | 3.4 | 27.0 | 52.8 | Ar | 5.5 | 4.8 | 1.00 |
| 100-135 | 4.1 | 8.5 | 6.9 | 21.0 | 5.7 | 21.3 | 32.5 | FArA | 5.9 | 4.8 | 0.31 |

| Profundidad cm | C Orgánico % | N Total % | C/N | meq/100 g suelo | | | P ppm | Oxidos Libres | |
|-------------------|-----------------|--------------|-----|-----------------|------|------|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | | | ClC | Ca | Mg | | Fe ₂ O ₃ % | Al ₂ O ₃ % |
| 0-30 | 1.96 | 0.26 | 8 | 66.0 | 30.9 | 15.2 | 0.5 | 9.37 | 1.30 |
| 30-60 | 0.86 | 0.12 | 7 | 68.0 | 38.9 | 22.6 | 0.2 | 7.31 | 2.00 |
| 60-100 | 0.58 | 0.07 | 8 | 68.0 | 35.4 | 23.8 | 0.2 | 8.31 | 1.65 |
| 100-135 | 0.18 | 0.05 | 4 | 70.0 | 40.9 | 43.6 | 0.2 | 6.51 | 1.18 |

* Ar = Arcillosa, FArA = Franco arcillo-arenosa.

Cuadro 16. Peso seco (gramos) por maceta de las plantas de tomate, según diferentes tratamientos, ensayo de invernadero.

| | Tratamientos | | | | | | Completo |
|----------|--------------|---------|---------|---------|----------|-----------------|----------|
| | Testigo | Menos N | Menos P | Menos K | Menos Mg | Menos E.M.* y S | |
| Suelo | 0.4 | 2.9 | 0.1 | 5.8 | 6.7 | 5.2 | 6.0 |
| Subsuelo | 0.1 | 1.6 | 0.1 | 3.1 | 3.7 | 2.4 | 3.9 |

* E.M. = Elementos menores

Cuadro 17. Interpretación de los resultados del cuadro 16.

| | Elementos conjuntos | N | P | K | Mg | E.M. y S |
|-----------------------------|---------------------|-----|------|-----|------|----------|
| Suelo | | | | | | |
| g peso seco* | 5.4 | 3.1 | 5.9 | 0.2 | -0.7 | 0.8 |
| % sobre menos el elemento** | 1350 | 107 | 3900 | 3 | -10 | 15 |
| % del completo*** | 90 | 52 | 98 | 3 | -12 | 13 |
| Subsuelo | | | | | | |
| g peso seco* | 3.8 | 1.3 | 3.8 | 0.8 | 0.2 | 1.5 |
| % sobre menos el elemento** | 3800 | 81 | 3800 | 26 | 5 | 63 |
| % del completo*** | 98 | 33 | 98 | 20 | 1 | 40 |

* Diferencia en gramos de peso seco al comparar la producción del tratamiento sin el elemento y del tratamiento completo.

** Incremento en peso seco sobre el tratamiento sin el elemento en cuestión, tomando como base de 100 al mismo tratamiento.

*** Incremento en peso seco sobre el tratamiento sin el elemento en cuestión, tomando como base de 100 al tratamiento completo.

mediana en el cuarto. Existe poca variación de los valores de pH medidos en agua, mientras que el pH en cloruro de calcio es más bajo y más variable. La capacidad de intercambio catiónico, el magnesio y parte del calcio, aumentan con la profundidad, en cambio el nitrógeno y el carbono disminuyen. El potasio y el fósforo permanecen constantes a lo largo del perfil aunque son un poco mayores en el primer horizonte. La relación C/N varía muy poco y sólo en el último horizonte presenta un descenso apreciable. Los contenidos de hierro son altos, siendo mayor en el primer horizonte. El aluminio permanece con relativamente poca variación a lo largo del perfil.

En el cuadro 16, que representa los resultados de ensayos de invernadero, se nota que en casi todos los tratamientos, los suelos produjeron más que los subsuelos; en los tratamientos sin fósforo y testigo aparecen iguales producciones.

En el cuadro 17 se muestra una gran respuesta al fósforo tanto en el suelo como en el subsuelo, lo que está de acuerdo con las bajas cantidades de fósforo disponible encontradas en el laboratorio. La respuesta al nitrógeno fue mayor en el suelo que en el subsuelo, mientras que el potasio respondió poco en el subsuelo y casi nada en el suelo. La respuesta a elementos menores y azufre fue mayor en el suelo que en el subsuelo. La aplicación de magnesio no dio resultado positivo, posiblemente debido a las altas cantidades de este elemento en el suelo.

Perfil 9

Localizado en la parte superior de la ladera, con declive convexo, piedras y rocas en la superficie en cantidad moderada (15%). Suelo bien drenado, con relieve fuertemente quebrado y pendiente de 25-50 por ciento. Cubierto por pasto natural no explotado, donde la maleza empieza a predominar sobre el pastizal.

Descripción del perfil y resultados de los análisis de laboratorio
(cuadro 18)

- | | |
|------------------------------|---|
| 0 - 10 cm A ₁ | Textura arcillosa; color pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente pegajosa en mojado; abundante cantidad de raíces; fuertemente ácido. |
| 10 - 30 cm AC | Textura arcillosa; color pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y fina; consistencia friable en húmedo, plástica y pegajosa en mojado; se encuentran pocas piedras pequeñas (gravilla) en estado avanzado de meteorización; regular cantidad de raíces; fuertemente ácido. |
| 30 - 80 cm C ₁ | Textura arcillosa; color pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, plástica |

y pegajosa en mojado; aparece un poco de piedra en avanzado proceso de meteorización; regular cantidad de raíces; muy fuertemente ácido.

80 - 170 cm Material parental en avanzado proceso de meteorización. Entre las piedras y rocas se encuentra un escaso suelo rojizo. Aún se puede apreciar la roca sedimentaria, arenisca de color amarillo pálido (2.5Y 7/4), rodeada de un material meteorizado de color pardo fuerte (7.5YR 5/8); fuertemente ácido.

Este perfil es una fase erosionada de los suelos del perfil anterior, donde el primer horizonte es muy delgado y el segundo profundamente meteorizado.

Discusión

Este perfil (fase erosionada del anterior) presenta un mayor desarrollo y una mayor diferenciación de los horizontes. Los colores empiezan a tornarse más amarillentos, debido posiblemente a la influencia del óxido de hierro.

Al igual que los perfiles 7 y 8, se encuentra agrupado por Dóndoli y Torres (16) entre los suelos "Misceláneos" y guarda semejanza con la Serie Ventura.

En el cuadro 18, se observa que el contenido de las diferentes partículas de arena tiende a aumentar con la disminución de sus tamaños, a excepción de la arena muy fina; también este aumento continúa para las partículas de limo y arcilla. Los contenidos

Cuadro 18. Datos analíticos del suelo en ladera con declive convexo (véase Fig. 1).

Perfil N^o 9
 Altura s.n.m. 730 m

| Profundidad cm | Porcentaje distribución de partículas | | | | Limo | Arcilla | Textura* | pH | | M.O. % |
|-------------------|---------------------------------------|-------------|------------|----------------|------|---------|----------|-------------------------|--------------------------|-----------|
| | Arena gruesa | Arena media | Arena fina | Arena muy fina | | | | H ₂ O 1:1 | CaCl ₂ 1:1 | |
| 0-10 | 0.3 | 1.7 | 1.8 | 6.3 | 6.6 | 53.5 | Ar | 5.4 | 4.9 | 6.80 |
| 10-30 | 0.6 | 1.5 | 1.5 | 6.5 | 2.4 | 55.7 | Ar | 5.3 | 4.6 | 2.60 |
| 30-80 | 0.6 | 2.9 | 4.3 | 21.1 | 4.2 | 43.1 | Ar | 4.9 | 4.3 | 0.79 |
| 80-170 | 0.0 | 1.6 | 8.0 | 19.6 | 3.8 | 37.7 | FAR | 4.8 | 4.3 | 0.31 |

| Profundidad cm | C Orgánico % | N Total % | meq/100 g suelo | | | | P ppm | Oxidos Libres | | |
|-------------------|-----------------|--------------|-----------------|------|------|------|----------|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | | C/N | ClC | Ca | Mg | | K | Fe ₂ O ₃ % | Al ₂ O ₃ % |
| 0-10 | 3.93 | 0.52 | 8 | 72.5 | 29.9 | 12.7 | 1.1 | 1.8 | 7.21 | 1.65 |
| 10-30 | 1.50 | 0.20 | 8 | 76.5 | 19.5 | 16.0 | 0.7 | 0.2 | 9.21 | 1.18 |
| 30-80 | 0.46 | 0.07 | 7 | 78.0 | 17.5 | 10.7 | 0.2 | 0.2 | 9.21 | 1.53 |
| 80-170 | 0.18 | 0.03 | 6 | 85.0 | 12.5 | 21.8 | 0.2 | 0.2 | 9.41 | 1.06 |

* Ar = Arcillosa, FAR = Franco arcillosa.

totales de arcenas y arcillas disminuyen con la profundidad, en cambio el limo, aunque disminuye, no lo hace en forma constante. Tanto el pH en agua, como en cloruro de calcio disminuyen con la profundidad. El pH, nitrógeno total, carbono total, relación C/N, calcio y potasio, disminuyen a medida que se profundiza en el perfil; la capacidad de intercambio catiónico y el óxido de hierro libre aumentan. El fósforo, a excepción del primer horizonte, donde se encuentra en mayor cantidad, permanece constante. El magnesio, sin tener en cuenta el tercer horizonte, aumenta con la profundidad. El óxido de hierro al igual que el óxido de aluminio varían poco dentro del perfil, siendo mayor el contenido de hierro que el de aluminio.

Perfil 10

Localizado en la cima. Suelos bien drenados, con relieve casi plano o ligeramente cóncavo, pendiente menor de 3 por ciento y ligera erosión. Se encuentra cubierto por pastos naturales altos, no explotados.

Descripción del perfil, resultados de los análisis de laboratorio (cuadro 19) y del ensayo de invernadero (cuadros 20, 21)

O - 15 cm Textura arcillosa; color pardo a pardo oscuro (10YR A₁ 4/3) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, plástica y ligeramente pegajosa en mojado; abundante cantidad de raíces; fuertemente ácido.

- 15 - 60 cm Textura arcillosa; color pardo amarillento oscuro
B₂ (10YR 4/4) en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, plástica y pegajosa en mojado; abundante cantidad de raíces; medianamente ácido.
- 60 - 120 cm Textura arcillosa; color pardo amarillento (10YR 5/4)
B₃ en húmedo; estructura en bloques subangulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, plástica y pegajosa en mojado; se encuentran algunas piedras medianamente meteorizadas; abundante cantidad de raíces; medianamente ácido.
- 120-165 cm Textura arcillosa; color pardo fuerte (7.5YR 5/6) en
C húmedo; estructura en bloques angulares, moderada y media; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente pegajosa en mojado; escasa cantidad de raíces; medianamente ácido.

Abundante cantidad de raíces en el perfil, dando la sensación de ser el mejor suelo de la secuencia topográfica. El perfil se encuentra muy alterado por las hormigas, no obstante las muestras se tomaron donde no existía visible alteración reciente.

Discusión

Es el perfil más arcilloso, profundo y desarrollado de la secuencia topográfica, los colores se tornan más amarillentos y rojizos con la profundidad. Por su coloración, profundidad y

Cuadro 19. Datos analíticos del suelo de la cima (véase Fig. 1).

Perfil No 10

Altura s.n.m. 780 m

| Profundidad cm | Porcentaje distribución de partículas | | | | | | | Textura* | pH | | M.O. % |
|-------------------|---------------------------------------|-------------|------------|----------------|------|---------|----------------------|----------|-----------------------|-----|-----------|
| | Arena gruesa | Arena media | Arena fina | Arena muy fina | Limo | Arcilla | H ₂ O 1:1 | | CaCl ₂ 1:1 | | |
| 0-15 | 2.9 | 4.1 | 2.5 | 5.9 | 3.3 | 25.6 | 55.7 | Ar | 5.5 | 4.5 | 6.76 |
| 15-60 | 0.4 | 1.2 | 1.4 | 3.9 | 7.1 | 8.5 | 77.5 | Ar | 6.0 | 4.5 | 2.21 |
| 60-120 | 1.8 | 2.5 | 1.4 | 3.7 | 11.6 | 18.8 | 70.2 | Ar | 5.9 | 4.5 | 1.04 |
| 120-165 | 1.7 | 2.8 | 1.8 | 4.2 | 10.8 | 6.2 | 72.5 | Ar | 5.6 | 4.6 | 0.38 |

| Profundidad cm | C Orgánico % | N Total % | C/N | meg/100 g suelo | | | | P ppm | Oxidos libres | |
|-------------------|--------------|-----------|-----|-----------------|------|------|-----|-------|----------------------------------|----------------------------------|
| | | | | ClC | Ca | Mg | K | | Fe ₂ O ₃ % | Al ₂ O ₃ % |
| 0-15 | 3.91 | 0.37 | 11 | 45.3 | 13.1 | 12.5 | 0.2 | 0.8 | 10.61 | 7.20 |
| 15-60 | 1.28 | 0.14 | 9 | 58.2 | 11.1 | 11.6 | 0.1 | 0.4 | 12.81 | 8.50 |
| 60-120 | 0.60 | 0.09 | 7 | 49.5 | 10.4 | 10.8 | 0.1 | 1.0 | 13.91 | 9.45 |
| 120-165 | 0.22 | 0.06 | 4 | 48.0 | 10.2 | 10.4 | 0.1 | 0.2 | 13.41 | 10.98 |

* Ar = Arcillosa.

Cuadro 20. Peso seco (gramos) por maceta de las plantas de tomate, según diferentes tratamientos, ensayo de invernadero.

| | Tratamientos | | | | | | Completo |
|----------|--------------|---------|---------|---------|----------|-----------------|----------|
| | Testigo | Menos N | Menos P | Menos K | Menos Mg | Menos E.M.* y S | |
| Suelo | 0.1 | 4.9 | 0.1 | 3.3 | 4.7 | 2.9 | 4.3 |
| Subsuelo | 0.1 | 0.6 | 0.1 | 0.7 | 1.0 | 1.9 | 3.1 |

* E.M. = Elementos menores

Cuadro 21. Interpretación de los resultados del cuadro 20.

| | Elementos conjuntos | N | P | K | Mg | E.M. y S |
|-----------------------------|---------------------|------|------|-----|------|----------|
| Suelo | | | | | | |
| g peso seco* | 4.2 | -0.6 | 4.2 | 1.0 | -0.4 | 1.4 |
| % sobre menos el elemento** | 4200 | -12 | 4200 | 30 | -9 | 48 |
| % del completo *** | 98 | -14 | 98 | 23 | -9 | 33 |
| Subsuelo | | | | | | |
| g peso seco* | 3.0 | 2.5 | 3.0 | 2.4 | 2.1 | 1.6 |
| % sobre menos el elemento** | 3000 | 417 | 3000 | 344 | 210 | 83 |
| % del completo*** | 97 | 81 | 97 | 78 | 68 | 52 |

* Diferencia en gramos de peso seco al comparar la producción del tratamiento sin el elemento y del tratamiento completo.

** Incremento en peso seco sobre el tratamiento sin el elemento en cuestión, tomando como base de 100 al mismo tratamiento.

*** Incremento en peso seco sobre el tratamiento sin el elemento en cuestión, tomando como base de 100 al tratamiento completo.

relativamente alto contenido de óxidos libres de hierro y aluminio, se puede considerar como un latosol; sin embargo, la presencia de piedras superficiales y algunas pocas a lo largo del perfil indican que ha habido un rejuvenecimiento por la erosión.

Se encuentra entre los suelos "Misceláneos" agrupados por Dóndoli y Torres (16), pero se asemeja a la descrita como Serie Colorado, caracterizada por ser suelos lateríticos, donde el proceso de edafización ha sido intenso, la coloración rojiza dominante, el alto contenido de sesquióxidos de hierro y por su baja fertilidad potencial. La roca madre está constituida por lava andesítica muy meteorizada.

En el cuadro 19 se nota un aumento en las fracciones granulométricas a medida que disminuye el diámetro de las partículas. El contenido de limo disminuye con la profundidad, en cambio la arcilla aumenta, sin embargo la textura permanece arcillosa para todo el perfil. Tanto en dilución acuosa como en cloruro de calcio el pH tiende a permanecer más o menos constante. La capacidad de cambio y la arcilla son mayores en el segundo horizonte. El nitrógeno total, carbono, relación C/N, calcio, magnesio, potasio y fósforo, tienden a disminuir con la profundidad; sin embargo, aumentan los contenidos de óxidos de hierro y aluminio. El potasio tiende a permanecer en su misma cantidad en el perfil, a excepción del primer horizonte donde ocurre un ligero aumento.

En el ensayo de invernadero (cuadro 20), todos los tratamientos produjeron más en el suelo que en el subsuelo, exceptuando los tratamientos testigo y sin fósforo.

Se observa en el cuadro 21 que la mayor respuesta ocurrió al fósforo. Las mejores respuestas ocurrieron en el subsuelo, siendo en su orden decreciente a las aplicaciones de fósforo, nitrógeno, potasio, magnesio y por último elementos menores y azufre. En el suelo fue mediana la respuesta a elementos menores y azufre y poca al potasio. No hubo respuesta a la aplicación de nitrógeno en el suelo, posiblemente debido a que el alto contenido de materia orgánica suple las necesidades de este elemento.

DISCUSION DE LA SECUENCIA TOPOGRAFICA

Trabajo de campo

Según el trabajo realizado por Dóndoli y Torres (16) los suelos de la secuencia topográfica se pueden dividir en dos grupos:

a) Suelos desarrollados sobre aluviones y depósitos fluvio-lacustres, Pleistocénicos y Olocénicos a los cuales pertenecen las Series Reventazón y La Margot. b) Suelos desarrollados sobre área de mucha pendiente a lo largo de los cortes del Río Reventazón y algunos de sus afluentes. La roca Madre está formada casi exclusivamente por lavas viejas y conglomerados, a los cuales pertenecen los suelos "Misceláneos". A la altura del perfil 7 se encuentran afloramientos de roca calcárea y piedras sueltas superficiales también calcáreas difundidas en parte del área.

De acuerdo con las demás descripciones de los suelos, en la parte correspondiente a los suelos "Misceláneos", se encuentran perfiles semejantes a las series descritas como Ventura y Colorado, pertenecientes ambas a los suelos desarrollados sobre formaciones lávicas viejas de tipo andesítico.

En la figura 1, los perfiles descritos a lo largo de la secuencia topográfica quedarían representados en las siguientes series:

- 1) Serie Reventazón, representada por el perfil 1, ocupa la parte más baja de la secuencia topográfica, localizada en una planicie de inundación; de textura arenosa y pedregosidad superficial, en su mayoría cantos rodados.

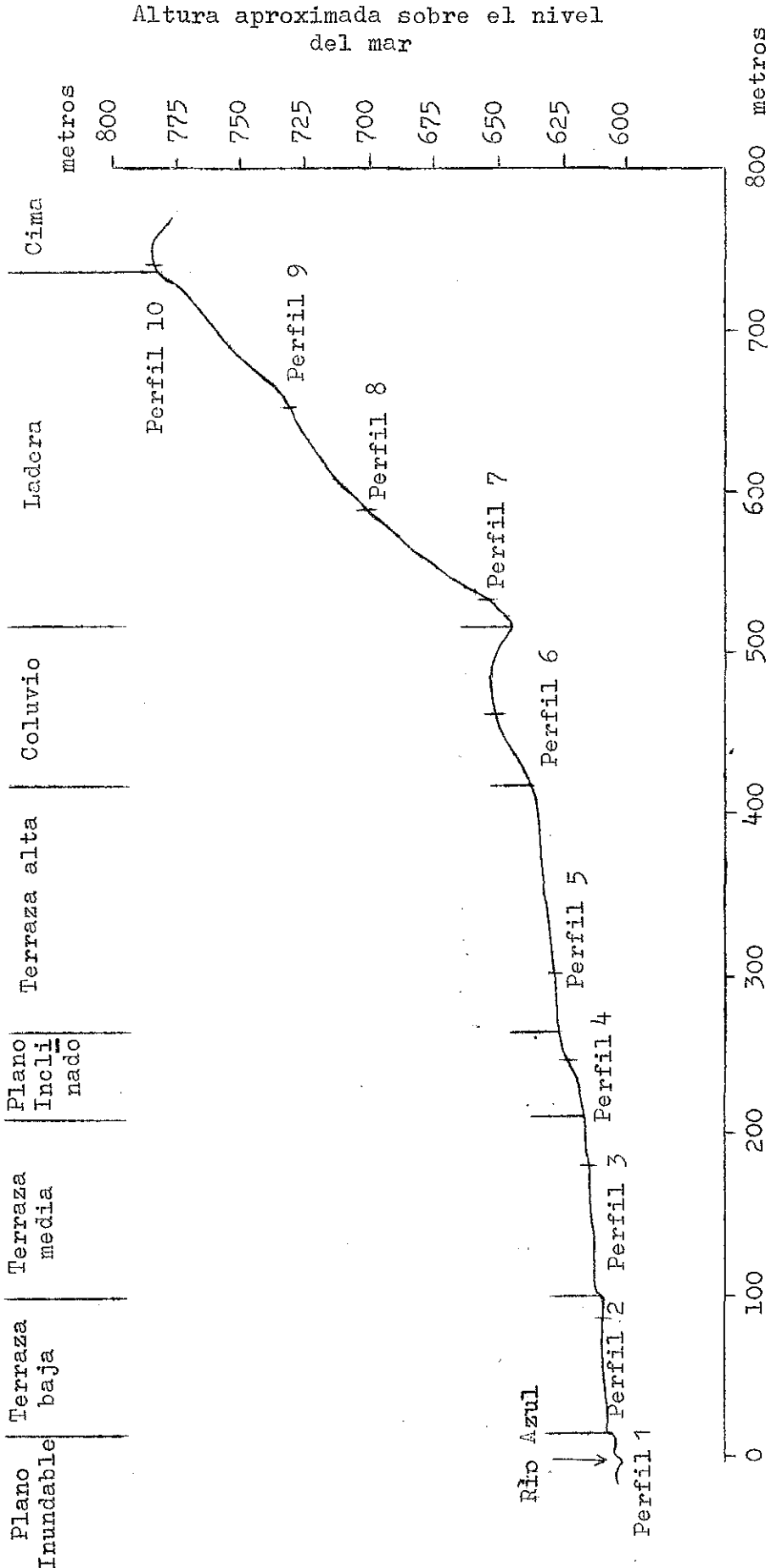


Figura 1. Corte transversal de la secuencia topográfica y localización de los perfiles estudiados.

- 2) Serie La Margot, representada por los perfiles 2, 3, 4, 5 y 6, constituida por depósitos aluvionales que descansan sobre un aglomerado de piezas grandes. Los perfiles 2, 3, y 4 pertenecen al tipo franco arcillo-arenoso, donde la pedregosidad superficial prácticamente no impide el laboreo. El perfil 5 pertenece a la fase coluvial, donde la pedregosidad superficial aumenta notándose los materiales caídos de las partes más altas. El perfil 6 pertenece a la fase influenciada, donde ha sido mayor la influencia de los materiales caídos de las laderas vecinas.
- 3) En los suelos "Misceláneos" semejantes a la Serie Ventura, representada ésta por los perfiles 7, 8 y 9, se nota poca influencia de ceniza volcánica depositada sobre lava andesítica vieja, caracterizada por lo escarpado de su topografía, coloración pardo amarillenta y lo relativamente delgado del subsuelo.
- 4) Suelos "Misceláneos" semejantes a la Serie Colorado, representada por el perfil 10, donde la roca madre está constituida por lava andesítica muy meteorizada. Se caracteriza por el color rojizo dominante, su alto contenido de sesquióxido de hierro y su baja fertilidad potencial.

No existe diferenciación marcada en la coloración de los horizontes en los perfiles; sin embargo, se vuelven más claros gradualmente a medida que se profundiza, especialmente en los perfiles más elevados de la secuencia topográfica, lo que sugiere que los suelos son relativamente jóvenes. En el perfil 2 aparece un tercer

horizonte de color oscuro debido a la influencia de las sales y materia orgánica acumuladas por la acción del nivel freático, en cambio en el perfil 3 la coloración oscura de los horizontes profundos se debe a que estos presentan un perfil enterrado ya sea por materiales aluviales o coluviales; lo mismo sucede en el perfil 5. Los colores de los suelos (47) en húmedo, varían desde gris oscuro hasta pardo fuerte y rojo amarillento; siendo dominantes, en el subsuelo, los colores pardo oscuro y pardo amarillento.

En cuanto a la textura*, los suelos tienden a volverse más finos a medida que aumenta la altura; la diferencia de textura se debe a que el río adiciona de vez en cuando nuevas cantidades de limo y arena, que hacen la textura más gruesa, mientras que en los perfiles más altos, especialmente en la cima, ha habido tiempo suficiente para la meteorización de las arenas y de los limos, formándose por consiguiente las arcillas. El buen drenaje, la alta temperatura y la continua precipitación han acelerado este proceso de meteorización (30).

En el cuadro 22 se observa una tendencia de las arenas muy gruesas a aumentar a medida que se profundiza en el perfil, esto también se cumple para los tres primeros horizontes (perfil superficial) y para los tres últimos (perfil enterrado) del perfil 3, sin embargo este aumento no es constante para todos los horizontes, ocurriendo en algunos casos una disminución apreciable; también

* Aunque el análisis granulométrico corresponde a análisis de laboratorio y no al trabajo de campo, se creyó más conveniente tenerlo en cuenta en esta parte, ya que en el trabajo de campo se estudiaron las propiedades físicas de los suelos.

Cuadro 22. Distribución de las arenas muy gruesas (%) en los horizontes.

| Horizontes | Perfiles | | | | | | | | | |
|--------------|----------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Arenas | 4.4 | 4.6 | 8.1 | 5.0 | 3.8 | 4.2 | 0.0 | 0.8 | 0.3 | 2.9 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-60 |
| Nomenclatura | Capa 2 | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| Arenas | 5.4 | 2.8 | 9.7 | 8.1 | 5.0 | 4.0 | 0.0 | 0.6 | 0.6 | 0.4 |
| Profundidad | 25-40 | 50-80 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 | B2h | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| Arenas | 2.5 | 4.3 | 15.1 | 10.1 | 4.9 | 10.3 | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 1.8 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | 80-120 | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 | C | A1b | C2 | A3b | C2 | C2 | C2 | C2 | C |
| Arenas | 7.1 | 5.4 | 6.1 | 7.7 | 5.1 | 12.3 | 12.3 | 4.1 | 0.0 | 1.7 |
| Profundidad | | | 140-160 | 140-155 | 80-110 | | | | | |
| Nomenclatura | | | Ab/Cb | C3 | Cb | | | | | |
| Arenas | | | 7.7 | 4.5 | 8.9 | | | | | |
| Profundidad | | | 60-180 | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | Cb | | | | | | | |
| Arenas | | | 10.7 | | | | | | | |

se nota una ligera tendencia de las arenas a disminuir con la altura, no obstante los mayores contenidos se encuentran en los perfiles intermedios.

Según el cuadro 23 las arenas gruesas tienen una ligera tendencia a aumentar con la profundidad, aunque en algunos casos sucede lo contrario. En el subperfil superficial, como en el enterrado del perfil 3 se observa un notable aumento de las arenas a medida que se profundiza. En términos generales se puede decir que no existe aumento constante del contenido de arena gruesa en los horizontes ni en los perfiles, sin embargo los contenidos más bajos se observan en los perfiles de las áreas con mayor pendiente.

Las arenas de tamaño medio (cuadro 24) aumentan con la profundidad, aunque no siempre en forma constante. En algunos perfiles se observa un mayor contenido de arena en el primer horizonte que en el segundo. Para casi todos los perfiles el horizonte más profundo posee el mayor contenido de arenas medias. Existe una ligera tendencia de estas arenas a disminuir con la altura, pudiéndose notar que los cinco últimos perfiles, pertenecientes a las áreas más pendientes, tienen menos contenido que los perfiles de las partes menos pendientes.

El cuadro 25 muestra una tendencia de las arenas finas a aumentar a medida que se profundiza en el perfil, sin embargo en algunos casos el horizonte superficial tiene mayor contenido que el segundo horizonte. Los contenidos de arena disminuyen, aunque no en forma constante, a medida que se aumenta en altura. Como se puede observar los seis primeros perfiles contienen más arena que

Cuadro 23. Distribución de las arenas gruesas (%) en los horizontes.

| Horizontes | Perfiles | | | | | | | | | |
|--------------|----------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Arenas | 18.8 | 8.3 | 9.6 | 6.8 | 6.6 | 5.5 | 1.6 | 2.3 | 1.7 | 4.1 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-60 |
| Nomenclatura | Capa 2 | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| Arenas | 3.5 | 5.5 | 16.0 | 13.1 | 8.1 | 3.6 | 1.0 | 3.2 | 1.5 | 1.2 |
| Profundidad | 25-40 | 50-80 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 | B2h | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| Arenas | 9.0 | 5.7 | 20.1 | 14.4 | 6.7 | 8.7 | 1.5 | 2.5 | 2.9 | 2.5 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | 80-120 | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 | C | A1b | C2 | A3b | C2 | C2 | C2 | C2 | C |
| Arenas | 20.2 | 10.8 | 5.3 | 10.7 | 9.5 | 10.5 | 10.5 | 8.5 | 1.6 | 2.8 |
| Profundidad | | | 140-160 | 140-155 | 80-110 | | | | | |
| Nomenclatura | | | Ab/Cb | C3 | Cb | | | | | |
| Arenas | | | 7.9 | 10.8 | 10.5 | | | | | |
| Profundidad | | | 160-180 | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | Cb | | | | | | | |
| Arenas | | | 10.5 | | | | | | | |

Cuadro 24. Distribución de las arenas medianas (%) en los horizontes.

| Horizontes | Perfiles | | | | | | | | | |
|--------------|----------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Arenas | 11.0 | 4.0 | 7.5 | 4.8 | 4.5 | 4.0 | 1.7 | 2.2 | 1.8 | 2.5 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-60 |
| Nomenclatura | Capa 2 | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| Arenas | 11.4 | 3.7 | 8.5 | 5.8 | 5.1 | 2.2 | 0.8 | 2.7 | 1.5 | 1.4 |
| Profundidad | 25-40 | 50-80 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 | B2h | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| Arenas | 9.4 | 3.9 | 11.5 | 6.4 | 5.0 | 6.0 | 1.5 | 4.1 | 4.3 | 1.4 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 | C | A1b | C2 | A3b | | C2 | C2 | C2 | C |
| Arenas | 16.4 | 6.4 | 4.2 | 4.8 | 6.1 | | 6.2 | 6.9 | 8.0 | 1.8 |
| Profundidad | | | 140-160 | 140-155 | 80-110 | | | | | |
| Nomenclatura | | | Ab/Cb | C3 | Cb | | | | | |
| Arenas | | | 4.7 | 6.2 | 6.5 | | | | | |
| Profundidad | | | 160-180 | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | Cb | | | | | | | |
| Arenas | | | 5.5 | | | | | | | |

Cuadro 25. Distribución de las arenas finas (%) en los horizontes.

| Horizontes | P e r f i l e s | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Arenas | 24.1 | 17.8 | 16.5 | 12.7 | 13.5 | 15.5 | 7.1 | 9.2 | 6.3 | 5.9 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-60 |
| Nomenclatura | Capa 2 | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| Arenas | 31.6 | 17.4 | 21.1 | 16.0 | 15.6 | 15.4 | 4.5 | 8.6 | 6.5 | 3.9 |
| Profundidad | 25-40 | 50-80 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 | B2h | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| Arenas | 31.4 | 14.4 | 21.0 | 17.1 | 14.4 | 15.8 | 6.9 | 9.8 | 21.1 | 3.7 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | 80-120 | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 | C | A1b | C2 | A3b | C2 | C2 | C2 | C2 | C |
| Arenas | 28.7 | 22.0 | 15.7 | 20.9 | 15.3 | 17.8 | 17.8 | 21.0 | 19.6 | 4.2 |
| Profundidad | | | 140-160 | 140-155 | 80-110 | | | | | |
| Nomenclatura | | | Ab/Cb | C3 | Cb | | | | | |
| Arenas | | | 17.1 | 19.7 | 15.9 | | | | | |
| Profundidad | | | 160-180 | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | Cb | | | | | | | |
| Arenas | | | 15.7 | | | | | | | |

los cuatro últimos, que se encuentran en las partes más altas de la secuencia topográfica.

En el cuadro 26 no se observan tendencias de aumento o disminución de las arenas muy finas con la profundidad en los perfiles. En algunos casos el primero y último horizontes contienen más arena que los horizontes intermedios. Los perfiles de las áreas menos pendientes (plano de inundación y terrazas) son más ricos en esta clase de material que los perfiles de las áreas donde la pendiente es mayor del 25 por ciento.

Según el cuadro 27 los contenidos de arenas totales tienden a aumentar con la profundidad del perfil, aunque no en forma constante. En algunos casos el contenido del primer horizonte es mayor que en el segundo, debido quizás a nuevas deposiciones aluviales o volcánicas. A excepción del perfil 4, los contenidos de arena fueron mayores en el último horizonte, esto mismo ocurrió para los subperfiles del perfil 3, siendo más arenoso el subperfil superficial. Se nota un descenso en el contenido de arenas a medida que se aumenta en altura, sin embargo en el perfil 2 ocurre un fuerte descenso.

Existe la tendencia de los contenidos de limo (Cuadro 28) a permanecer más o menos constantes y bajos, con algunas pocas variaciones, dentro del perfil.

El contenido de arcillas (cuadro 29), a excepción del perfil 10, tiende a disminuir con la profundidad, sin embargo en algunos casos el contenido es menor en el primer horizonte que en el segundo. También se nota que fuera del perfil 10 los demás perfiles

Cuadro 26. Distribución de las arenas muy finas (%) en los horizontes.

| Horizontes | Perfiles | | | | | | | | | |
|--------------|----------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Arenas | 10.9 | 9.8 | 21.3 | 16.6 | 9.4 | 8.3 | 11.1 | 4.2 | 6.6 | 3.3 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-60 |
| Nomenclatura | Capa 2 | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| Arenas | 7.4 | 14.2 | 9.7 | 13.1 | 17.3 | 15.1 | 3.5 | 4.2 | 2.4 | 7.1 |
| Profundidad | 25-40 | 50-80 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 | B2h | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| Arenas | 15.5 | 17.2 | 5.5 | 7.1 | 12.0 | 1.4 | 2.1 | 3.4 | 4.2 | 11.6 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 | C | A1b | C2 | A3b | | C2 | C2 | C2 | C |
| Arenas | 11.9 | 4.5 | 15.5 | 3.0 | 11.5 | | 4.4 | 5.7 | 3.8 | 10.8 |
| Profundidad | | | 140-160 | 140-155 | 80-110 | | | | | |
| Nomenclatura | | | Ab/Cb | C3 | Cb | | | | | |
| Arenas | | | 10.0 | 5.9 | 10.8 | | | | | |
| Profundidad | | | 160-180 | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | Cb | | | | | | | |
| Arenas | | | 12.4 | | | | | | | |

Cuadro 27. Distribución de las arenas totales (%) en los horizontes.

| Horizontes | P e r f i l e s | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|--------|---------|---------|-------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Arenas | 69.2 | 44.5 | 63.0 | 45.9 | 37.8 | 37.5 | 21.5 | 18.7 | 16.7 | 18.7 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-60 |
| Nomenclatura | Capa 2 | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| Arenas | 59.3 | 43.6 | 65.0 | 56.1 | 51.1 | 40.3 | 9.8 | 19.3 | 12.5 | 14.0 |
| Profundidad | 25-40 | 50-80 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 | B2h | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| Arenas | 67.3 | 45.5 | 73.2 | 55.1 | 43.0 | 42.2 | 12.3 | 20.2 | 33.1 | 21.0 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | 80-120 | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 | C | A1b | C2 | A3b | C2 | C2 | C2 | C2 | C |
| Arenas | 84.3 | 49.1 | 46.8 | 47.1 | 47.5 | 51.2 | 51.2 | 46.2 | 33.0 | 21.3 |
| Profundidad | | | | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | | | | | | | | |
| Arenas | | | | | | | | | | |
| Profundidad | | | | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | | | | | | | | |
| Arenas | | | | | | | | | | |

Cuadro 28. Distribución del limo (%) en los horizontes.

| Horizontes | P e r f i l e s | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Limo | 16.0 | 20.9 | 12.1 | 20.1 | 35.0 | 31.9 | 16.3 | 27.8 | 29.8 | 25.6 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-50 |
| Nomenclatura | Capa 2 | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| Limo | 16.2 | 27.1 | 14.0 | 18.3 | 27.7 | 29.0 | 20.5 | 28.8 | 31.8 | 8.5 |
| Profundidad | 25-40 | 50-80 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 | B2h | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| Limo | 14.9 | 22.7 | 9.8 | 19.5 | 32.0 | 29.5 | 28.9 | 27.0 | 23.8 | 18.8 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | 80-120 | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 | C | A1b | C2 | A3b | C2 | C2 | C2 | C2 | C |
| Limo | 2.5 | 26.1 | 15.3 | 27.2 | 28.6 | 20.0 | 20.0 | 21.3 | 29.3 | 6.2 |
| Profundidad | | | 140-160 | 140-155 | 80-110 | | | | | |
| Nomenclatura | | | Ab/Cb | C3 | Cb | | | | | |
| Limo | | | 23.2 | 29.5 | 24.4 | | | | | |
| Profundidad | | | 160-180 | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | Cb | | | | | | | |
| Limo | | | 18.9 | | | | | | | |

muestran un contenido más bajo en el horizonte más profundo. En los perfiles de las áreas menos pendientes, el contenido de arcilla, a excepción del perfil 2, permanece relativamente constante, ocurriendo el mayor aumento a medida que se empieza a subir en la parte más pendiente de la secuencia topográfica, perfiles 7, 8, 9 y 10.

La estructura dominante de los horizontes es de tipo bloque subangular, grado moderado y tamaño medio, con pocas variaciones. Solamente los horizontes muy arenosos no poseen estructura o mejor su estructura es de grano simple. El perfil 10 es el mejor estructurado, no obstante según los resultados del ensayo de invernadero son los suelos más pobres de la secuencia topográfica, por ser los más viejos o más meteorizados.

La consistencia en húmedo es friable, solamente unos pocos horizontes son muy friables. En mojado los suelos son de ligeramente plásticos a plásticos y de ligeramente pegajosos a pegajosos. En aquellos horizontes con mucha arena no existe pegajosidad.

Trabajo de laboratorio

Se obtuvo mayor valor de pH cuando se determinó en agua (cuadro 30) que cuando se leyó en cloruro de calcio (cuadro 31); sin embargo estas variaciones no fueron constantes, tendiendo a ser mayor la variación en los horizontes de los perfiles más elevados. Observando los cuadros 30 y 31 se nota que el pH tiende a disminuir con la altura, sin embargo en el perfil 7 se eleva este valor, debido a las afloraciones calcáreas y piedras superficiales también

Cuadro 30. pH en agua de los horizontes.

| Horizontes | Perfiles | | | | | | | | | |
|--------------|----------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| pH | 6.0 | 5.5 | 6.0 | 5.4 | 5.5 | 5.4 | 6.5 | 5.8 | 5.4 | 5.5 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-60 |
| Nomenclatura | Capa 2 | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| pH | 6.2 | 6.0 | 5.8 | 5.0 | 5.9 | 5.1 | 6.5 | 5.8 | 5.3 | 6.0 |
| Profundidad | 25-40 | 50-80 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 | B2h | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| pH | 6.0 | 5.9 | 6.0 | 5.3 | 5.2 | 5.0 | 6.7 | 5.5 | 4.9 | 5.9 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | 80-120 | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 | C | A1b | C2 | A3b | C2 | C2 | C2 | C2 | C |
| pH | 6.2 | 5.6 | 5.7 | 5.5 | 4.9 | 7.6 | 7.6 | 5.9 | 4.8 | 5.6 |
| Profundidad | | | 140-160 | 140-155 | 80-110 | | | | | |
| Nomenclatura | | | Ab/Cb | C3 | Cb | | | | | |
| pH | | | 5.9 | 5.6 | 4.9 | | | | | |
| Profundidad | | | 160-180 | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | Cb | | | | | | | |
| pH | | | 5.8 | | | | | | | |

Cuadro 31. pH en cloruro de calcio de los horizontes.

| Horizontes | Perfiles | | | | | | | | | |
|--------------|----------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| pH | 5.8 | 4.9 | 5.6 | 4.8 | 5.1 | 5.0 | 5.8 | 5.0 | 4.9 | 4.5 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-60 |
| Nomenclatura | Capa 2 | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| pH | 5.7 | 5.3 | 5.6 | 4.7 | 4.8 | 4.8 | 5.7 | 4.3 | 4.6 | 4.5 |
| Profundidad | 25-40 | 50-80 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 | B2h | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| pH | 5.7 | 5.6 | 5.7 | 4.7 | 4.7 | 4.9 | 6.0 | 4.8 | 4.3 | 4.5 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 | C | A1b | C2 | A3b | | C2 | C2 | C2 | C |
| pH | 5.8 | 5.5 | 5.5 | 5.2 | 4.6 | | 6.5 | 4.8 | 4.3 | 4.6 |
| Profundidad | | | 140-160 | 100-155 | 80-110 | | | | | |
| Nomenclatura | | | Ab/Cb | C3 | Cb | | | | | |
| pH | | | 5.6 | 5.3 | 4.7 | | | | | |
| Profundidad | | | 160-180 | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | Cb | | | | | | | |
| pH | | | 5.6 | | | | | | | |

calcáreas que se encuentran en el área. El pH en CaCl_2 (cuadro 31) parece representar mejor lo esperado y conserva una mayor relación con los análisis de bases cambiables, óxidos libres de hierro y aluminio y contenido de materia orgánica. A excepción del perfil 7, el pH en agua concuerda con los valores reportados por Bornemisza (4) para los suelos de la Meseta Central de Costa Rica y con los reportados por Hardy (26) para los suelos del área de Turrialba.

En términos generales el contenido de nitrógeno (cuadro 32) disminuye con la profundidad, solo en el perfil 3, que tiene enterrados los tres últimos horizontes, se notó un aumento, y en el segundo horizonte del perfil 1, por ser el primer horizonte una de posición reciente de arena. El nitrógeno total del horizonte superficial aumentó en los primeros perfiles y luego permaneció con niveles altos pero variables. El contenido de nitrógeno total de los subsuelos o fue variable o tendió a alcanzar un nivel bajo más o menos constante. Los contenidos de nitrógeno en los suelos de terraza son mayores que los reportados por Fassbender (20) para la Serie La Margot, y menores en el perfil 10 que para la Serie Colorado.

El cuadro 33 muestra que el contenido de carbono total disminuye con la profundidad en el perfil, sin embargo para los perfiles 1 y 2, aunque existe una disminución, no es constante, y para el perfil 3 esto se cumple si se toma por separado el subperfil superficial y el perfil enterrado. Los contenidos de carbono en los suelos de terraza concuerdan con los encontrados por Fassbender (20)

Cuadro 32. Nitrógeno total (%) en los horizontes.

| Horizontes | P e r f i l e s | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Nitrógeno | 0.03 | 0.25 | 0.46 | 0.32 | 0.43 | 0.41 | 0.54 | 0.26 | 0.52 | 0.37 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-60 |
| Nomenclatura | Capa 2 | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| Nitrógeno | 0.23 | 0.10 | 0.11 | 0.08 | 0.18 | 0.17 | 0.15 | 0.12 | 0.20 | 0.14 |
| Profundidad | 25-40 | 50-80 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 | B2h3 | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| Nitrógeno | 0.10 | 0.08 | 0.03 | 0.05 | 0.16 | 0.06 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.09 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 | C | A1b | C2 | A3b | | C2 | C2 | C2 | C |
| Nitrógeno | 0.06 | 0.08 | 0.15 | 0.05 | 0.06 | | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.06 |
| Profundidad | | | 140-160 | 140-155 | 80-110 | | | | | |
| Nomenclatura | | | Ab/Cb | C3 | Cb | | | | | |
| Nitrógeno | | | 0.09 | 0.04 | 0.05 | | | | | |
| Profundidad | | | 160-180 | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | Cb | | | | | | | |
| Nitrógeno | | | 0.06 | | | | | | | |

Cuadro 33. Carbono orgánico (%) en los horizontes.

| Horizontes | P e r f i l e s | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Carbono | 0.23 | 2.06 | 2.89 | 2.73 | 2.27 | 3.65 | 2.59 | 1.96 | 3.93 | 3.91 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-60 |
| Nomenclatura | Capa 2 | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| Carbono | 0.44 | 0.53 | 0.82 | 0.52 | 1.46 | 1.40 | 1.02 | 0.86 | 1.50 | 1.28 |
| Profundidad | 25-40 | 50-80 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 | B2h | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| Carbono | 0.80 | 0.82 | 0.29 | 0.20 | 1.40 | 0.15 | 0.36 | 0.58 | 0.46 | 0.60 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 | C | A1b | C2 | A3b | | C2 | C2 | C2 | C |
| Carbono | 0.38 | 0.58 | 1.48 | 0.16 | 0.20 | | 0.10 | 0.18 | 0.18 | 0.22 |
| Profundidad | | | 140-160 | 140-155 | 80-110 | | | | | |
| Nomenclatura | | | Ab/Cb | C3 | Cb | | | | | |
| Carbono | | | 0.80 | 0.14 | 0.14 | | | | | |
| Profundidad | | | 160-180 | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | Cb | | | | | | | |
| Carbono | | | 0.48 | | | | | | | |

para la Serie La Margot; sin embargo, en este trabajo los resultados para el perfil 10 fueron menores que los reportados por el mismo autor para la Serie Colorado. El carbono no guarda relación con el contenido de nitrógeno lo cual explica lo variables que son los resultados para la relación C/N que se verá en seguida.

La relación C/N (cuadro 34) resultó baja posiblemente debido a que parte del amonio fijado en los suelos puede ser extraído y luego expresado como porcentaje del nitrógeno total (58). Algunos suelos pueden contener del 20 al 40 por ciento del nitrógeno total del suelo en forma de amonio fijado (58); los altos contenidos de calcio y la capacidad de cambio, hacen probable la presencia de arcillas del tipo 2:1, fijadoras de amonio. Aunque en algunos perfiles estos valores disminuyen con la profundidad, no se puede generalizar para todos; igualmente no existe una variación constante en los perfiles a medida que se sube en la secuencia topográfica.

La capacidad de intercambio catiónico (cuadro 35) permanece más o menos constante en cada perfil, aunque generalmente se observa un ligero aumento con la profundidad y en pocos casos disminuye. Se nota la tendencia a aumentar con la altura, solamente que al llegar a la cima hay suelos más desarrollados que sufren un rápido descenso en su capacidad de cambio debido al tipo de arcilla, posiblemente caolinita y sesquióxidos, que predominan en los suelos lateríticos (2), en comparación con la presencia probable de arcillas del tipo 2:1 en los perfiles formados bajo la influencia del material calcáreo.

Cuadro 34. Relación C/N en los horizontes.

| Horizontes | P e r f i l e s | | | | | | | | | |
|------------------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad Nomenclatura C/N | 0-10 Capa 1 8 | 0-15 A1 8 | 0-10 A1 6 | 0-30 A1 9 | 0-10 A1 5 | 0-10 A1 9 | 0-10 A1 5 | 0-30 A1 8 | 0-10 A1 8 | 0-15 A1 11 |
| Profundidad Nomenclatura C/N | 10-25 Capa 2 2 | 15-50 B1 5 | 10-40 A/C 8 | 30-60 A/C 7 | 10-30 C 8 | 10-30 C1 8 | 10-40 A/C 7 | 30-60 A/C 7 | 10-30 AC 8 | 15-60 B2 9 |
| Profundidad Nomenclatura C/N | 25-40 Capa 3 8 | 50-80 B2h 10 | 40-120 C 10 | 60-100 C1 4 | 30-55 A1b 9 | 30-105 C2 3 | 40-80 C1 5 | 60-100 C1 8 | 30-80 C1 7 | 60-120 B3 7 |
| Profundidad Nomenclatura C/N | 40-70 Capa 4 6 | 80-120 C 7 | 120-140 A1b 10 | 100-140 C2 3 | 55-80 A3b 3 | 80-120 C2 3 | 100-135 C2 4 | 80-170 C2 6 | 120-165 C 4 | |
| Profundidad Nomenclatura C/N | | | 140-160 Ab/Cb 9 | 140-155 C3 3 | 80-110 Cb 3 | | | | | |
| Profundidad Nomenclatura C/N | | | 160-180 Cb 8 | | | | | | | |

Cuadro 35. CIC (meq/100 g suelo) en los horizontes.

| Horizontes | P e r f i l e s | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| CIC | 46.0 | 54.5 | 58.5 | 53.5 | 53.5 | 65.0 | 70.2 | 66.0 | 72.5 | 45.3 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-60 |
| Nomenclatura | Capa 2 A/C | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| CIC | 47.0 | 55.7 | 54.5 | 56.0 | 50.5 | 65.5 | 68.0 | 68.0 | 76.5 | 58.2 |
| Profundidad | 25-40 | 50-80 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 A1b | B2h | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| CIC | 40.5 | 55.0 | 52.5 | 59.0 | 51.0 | 77.5 | 68.0 | 68.0 | 78.0 | 49.5 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 C | C | A1b | C2 | A3b | | C2 | C2 | C2 | C |
| CIC | 33.5 | 54.5 | 52.5 | 53.5 | 57.0 | | 70.5 | 70.0 | 85.0 | 48.0 |
| Profundidad | | | 140-160 | 140-155 | 80-110 | | | | | |
| Nomenclatura | | | Ab/Cb | C3 | Cb | | | | | |
| CIC | | | 62.0 | 58.0 | 59.0 | | | | | |
| Profundidad | | | 160-180 | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | Cb | | | | | | | |
| CIC | | | 60.5 | | | | | | | |

Como se observa en el cuadro 36 el contenido de calcio es poco variable dentro de los horizontes de cada perfil. Los contenidos son altos, lo que concuerda con la descripción geológica de Dóndoli y Torres (16) de la formación calcárea "Las Animas" que aflora con bancos casi verticales de 1 a 2 metros de espesor. El alto contenido de calcio cambiabile y carbonatos libres impiden expresar el porcentaje de saturación de bases, que resulta en muchas ocasiones mayor del 100 por ciento. En el área ocupada por el perfil 7 se encuentran afloraciones calcáreas y piedras sueltas también calcáreas, dando por consiguiente un mayor contenido de calcio.

Según el cuadro 37 el contenido de magnesio es variable para los horizontes de cada perfil, aunque en algunos de ellos tiende a aumentar o a disminuir con la profundidad. En las bases cambiables, el contenido de magnesio sigue en abundancia al contenido de calcio. El magnesio es variable en la secuencia topográfica, sin embargo tiende a alcanzar mayores niveles en los perfiles intermedios donde aflora la roca caliza y el declive es más fuerte.

En general el potasio (cuadro 38) es mayor en el primer horizonte, disminuyendo con la profundidad. Estos suelos son de medianos a altos en potasio cambiabile, observándose poca respuesta a la aplicación de este elemento en el ensayo de invernadero. El contenido de potasio es poco constante para los horizontes, variando entre 0.1 y 2.2 meq/100 g de suelo y alcanzando mayores niveles en los suelos bajos aluviales. Si se tienen en cuenta las relaciones Ca/Mg, Mg/K y (Ca + Mg)/K encontradas por Hardy y Bazán (26) para

Cuadro 36. Contenido de calcio (meq/100 g suelo) en los horizontes.

| Horizontes | Perfiles | | | | | | | | | |
|--------------|----------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Calcio | 37.9 | 32.9 | 43.4 | 22.0 | 23.5 | 24.9 | 49.9 | 30.9 | 29.9 | 13.1 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-60 |
| Nomenclatura | Capa 2 | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| Calcio | 34.4 | 39.9 | 40.9 | 24.0 | 23.0 | 30.9 | 49.9 | 38.9 | 19.5 | 11.1 |
| Profundidad | 25-40 | 50-80 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 | B2h | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| Calcio | 24.4 | 40.9 | 41.9 | 26.9 | 21.0 | 31.9 | 49.9 | 35.4 | 17.5 | 10.4 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | 80-120 | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 | C | A1b | C2 | A3b | C2 | C2 | C2 | C2 | C |
| Calcio | 23.9 | 39.4 | 36.4 | 23.0 | 19.5 | 49.9 | 49.9 | 40.9 | 12.5 | 10.2 |
| Profundidad | | | 140-160 | 140-155 | 80-110 | | | | | |
| Nomenclatura | | | Ab/Cb | C3 | Cb | | | | | |
| Calcio | | | 46.4 | 25.9 | 20.5 | | | | | |
| Profundidad | | | 160-180 | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | Cb | | | | | | | |
| Calcio | | | 38.9 | | | | | | | |

Cuadro 37. Contenido de magnesio (meq/100 g suelo) en los horizontes.

| Horizontes | Perfiles | | | | | | | | | |
|--------------|----------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Magnesio | 19.3 | 14.4 | 10.3 | 10.7 | 14.0 | 15.2 | 8.6 | 15.2 | 12.7 | 12.5 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-60 |
| Nomenclatura | Capa 2 | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| Magnesio | 11.5 | 14.0 | 11.1 | 16.4 | 13.2 | 19.7 | 5.8 | 22.6 | 16.0 | 11.6 |
| Profundidad | 25-40 | 50-80 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 | B2h | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| Magnesio | 6.6 | 11.1 | 5.8 | 19.7 | 12.7 | 24.7 | 6.2 | 23.8 | 10.7 | 10.8 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 | C | A1b | C2 | A3b | | C2 | C2 | C2 | C |
| Magnesio | 6.2 | 11.5 | 4.1 | 17.7 | 18.5 | | 4.1 | 43.6 | 21.8 | 10.4 |
| Profundidad | | | 140-160 | 140-155 | 80-110 | | | | | |
| Nomenclatura | | | Ab/Cb | C3 | Cb | | | | | |
| Magnesio | | | 5.3 | 15.2 | 20.6 | | | | | |
| Profundidad | | | 160-180 | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | Cb | | | | | | | |
| Magnesio | | | 5.3 | | | | | | | |



Cuadro 38. Contenido de potasio (meq/100 g suelo) en los horizontes.

| Horizontes | P e r f i l e s | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Potasio | 0.9 | 0.8 | 2.2 | 0.5 | 1.3 | 0.6 | 1.6 | 0.8 | 1.1 | 0.2 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-60 |
| Nomenclatura | Capa 2 B1 | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| Potasio | 1.3 | 0.4 | 1.1 | 0.1 | 0.4 | 0.2 | 0.6 | 0.2 | 0.7 | 0.1 |
| Profundidad | 25-40 | 50-80 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 C | B2h | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| Potasio | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 C | C | A1b | C2 | A3b | | C2 | C2 | C2 | C |
| Potasio | 0.5 | 0.8 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| Profundidad | | | 140-160 | 140-155 | 80-110 | | | | | |
| Nomenclatura | | | Ab/Cb | C3 | Cb | | | | | |
| Potasio | | | 0.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | |
| Profundidad | | | 160-180 | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | Cb | | | | | | | |
| Potasio | | | 0.1 | | | | | | | |

suelos del área de Turrialba, se puede suponer que la roca que aflora y se encuentra diseminada en el área está constituida por carbonatos de calcio y magnesio. Sería recomendable hacer más tarde análisis de carbonatos ya que en el presente trabajo no fue posible por lo limitado del tiempo.

El fósforo aprovechable (cuadro 39) se encuentra en menor cantidad en los suelos debido en parte a la capacidad de fijación de las arcillas, de los sesquióxidos de hierro y aluminio y de los coloides (2). El contenido tiende a disminuir con la profundidad, sin embargo en el horizonte más profundo del perfil 1 ocurre un aumento. Las grandes cantidades de fósforo del perfil 3 se deben a las adiciones de materia orgánica con el objeto de fertilizar el cultivo del café y no a la aplicación de abonos químicos ya que según informan algunos agricultores de la zona, no ha habido fertilización del cultivo, no obstante los altos contenidos de fósforo hacen suponer una adición de abonos fosfatados. Al observar el cuadro 39 se nota que los suelos de las partes más pendientes son los más bajos en este elemento.

En el cuadro 40 los sesquióxidos de hierro libre permanecen más o menos constantes en los horizontes de un mismo perfil. El hierro tiende a aumentar considerablemente y en forma constante con la altura; esto concuerda con el aumento en el contenido de arcilla. Los contenidos de óxido de hierro libre en suelos de poca pendiente son similares a los encontrados por Bornemisza e Igue (6) y Fassbender (20) para las Series La Margot y Reventazón, y mayores en los perfiles del área escarpada, que los reportados para la Serie Colorado.

Cuadro 39. Contenido de fósforo (ppm) en los horizontes.

| Horizontes | Perfiles | | | | | | | | | |
|--------------|----------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Fósforo | 5.7 | 1.1 | 57.6 | 1.9 | 7.0 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 1.8 | 0.8 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-60 |
| Nomenclatura | Capa 2 | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| Fósforo | 4.0 | 0.4 | 19.0 | 0.2 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0.4 |
| Profundidad | 25-40 | 50-80 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 | B2h | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| Fósforo | 1.8 | 0.4 | 18.6 | 0.8 | 0.5 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 1.0 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 | C | A1b | C2 | A3b | | C2 | C2 | C2 | C |
| Fósforo | 5.7 | 0.4 | 0.7 | 0.6 | 0.2 | | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Profundidad | | | 140-160 | 140-155 | 80-110 | | | | | |
| Nomenclatura | | | Ab/Cb | C3 | Cb | | | | | |
| Fósforo | | | 0.2 | 0.8 | 0.2 | | | | | |
| Profundidad | | | 160-180 | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | Cb | | | | | | | |
| Fósforo | | | 0.5 | | | | | | | |

! 104 !

Cuadro 40. Contenido de óxido de hierro libre (%) en los horizontes.

| Horizontes | Perfiles | | | | | | | | | |
|--------------|----------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Hierro | 2.70 | 4.20 | 2.90 | 5.51 | 6.51 | 7.41 | 8.11 | 9.37 | 7.21 | 10.61 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-60 |
| Nomenclatura | Capa 2 | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| Hierro | 3.20 | 3.20 | 2.50 | 4.70 | 6.51 | 6.51 | 9.61 | 7.31 | 9.21 | 12.81 |
| Profundidad | 25-40 | 50-60 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 | B2h | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| Hierro | 3.20 | 3.70 | 2.50 | 3.70 | 7.81 | 5.01 | 9.41 | 8.31 | 9.21 | 13.91 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 | C | A1b | C2 | A3b | | C2 | C2 | C2 | C |
| Hierro | 3.10 | 3.70 | 6.71 | 4.50 | 9.28 | | 4.50 | 6.51 | 9.41 | 13.41 |
| Profundidad | | | 140-160 | 140-155 | 80-110 | | | | | |
| Nomenclatura | | | Ab/Cb | C3 | Cb | | | | | |
| Hierro | | | 6.71 | 5.70 | 4.50 | | | | | |
| Profundidad | | | 160-180 | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | Cb | | | | | | | |
| Hierro | | | 4.90 | | | | | | | |

Según comprobaron Soilleau y McCracken (57) los óxidos de hierro pasan de un color rojo a un color amarillento a medida que se hidratan, teniendo en cuenta lo anterior los óxidos de hierro son generalmente más hidratados a medida que se aumenta en profundidad, ya que la coloración se va tornando más amarillenta, especialmente en los perfiles más altos de la secuencia topográfica.

Según el cuadro 41 los óxidos de aluminio libre aparecen en menor cantidad que los óxidos de hierro y tienden a permanecer bastante constantes en los horizontes de un mismo perfil y en los perfiles de la secuencia topográfica, donde solamente los perfiles 6 y 10 tienen un gran aumento. Los contenidos de óxido de aluminio libre fueron menores en el perfil 1 que los reportados por Bornemisza e Igue (6) y Fassbender (20) para la Serie Reventazón, igual sucede para los perfiles 2, 3, 4 y 5 al compararlos con la Serie La Margot; lo mismo se puede decir para los suelos de la parte alta al compararlos con los resultados obtenidos por los mismos autores para la Serie Colorado.

Ensayo de invernadero

Como se observa en el cuadro 42 en todos los tratamientos la producción del suelo fue mayor que la del subsuelo; sin embargo, en los tratamientos testigos y sin fósforo de algunos perfiles aparecen resultados iguales de 0.1 g, por ser esta la cantidad mínima que se tomó en cuenta para expresar los resultados; no obstante, si se consulta el apéndice 1, donde aparecen los resultados exactos de los tratamientos y de las repeticiones, se notará que

Cuadro 41. Contenido de óxidos de aluminio libre (%) en los horizontes.

| Horizontes | Perfiles | | | | | | | | | |
|--------------|----------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Profundidad | 0-10 | 0-15 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-30 | 0-10 | 0-15 |
| Nomenclatura | Capa 1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 |
| Aluminio | 1.42 | 1.65 | 1.77 | 1.77 | 1.53 | 4.72 | 3.07 | 1.30 | 1.65 | 7.20 |
| Profundidad | 10-25 | 15-50 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 10-30 | 10-40 | 30-60 | 10-30 | 15-60 |
| Nomenclatura | Capa 2 | B1 | A/C | A/C | C | C1 | A/C | A/C | AC | B2 |
| Aluminio | 1.30 | 2.48 | 1.53 | 2.24 | 1.77 | 6.02 | 1.77 | 2.00 | 1.18 | 8.50 |
| Profundidad | 25-40 | 50-80 | 40-120 | 60-100 | 30-55 | 30-105 | 40-80 | 60-100 | 30-80 | 60-120 |
| Nomenclatura | Capa 3 | B2h | C | C1 | A1b | C2 | C1 | C1 | C1 | B3 |
| Aluminio | 1.42 | 1.77 | 1.65 | 1.18 | 2.00 | 6.97 | 1.65 | 1.65 | 1.53 | 9.45 |
| Profundidad | 40-70 | 80-120 | 120-140 | 100-140 | 55-80 | | 80-120 | 100-135 | 80-170 | 120-165 |
| Nomenclatura | Capa 4 | C | A1b | C2 | A3b | | C2 | C2 | C2 | C |
| Aluminio | 1.42 | 1.77 | 1.89 | 2.36 | 1.89 | | 1.65 | 1.18 | 1.06 | 10.98 |
| Profundidad | | | 140-160 | 140-155 | 80-110 | | | | | |
| Nomenclatura | | | Ab/Cb | C3 | Cb | | | | | |
| Aluminio | | | 1.65 | 2.48 | 4.72 | | | | | |
| Profundidad | | | 160-180 | | | | | | | |
| Nomenclatura | | | Cb | | | | | | | |
| Aluminio | | | 3.19 | | | | | | | |

Cuadro 42. Resultados del ensayo de invernadero con los suelos y subsuelos de los diferentes perfiles.
 Promedios de peso seco (gramos) por maceta de las plantas de tomate, según diferentes tratamientos.

| Tratamiento | 2 | | 5 | | 6 | | 8 | | 10 | |
|-------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
| | Suelo | Sub-suelo | Suelo | Sub-suelo | Suelo | Sub-suelo | Suelo | Sub-suelo | Suelo | Sub-suelo |
| Testigo | 0.4 | 0.1 | 0.7 | 0.1 | 0.4 | 0.1 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| - N | 4.6 | 1.1 | 2.1 | 0.5 | 6.3 | 0.9 | 2.9 | 1.6 | 4.9 | 0.6 |
| - P | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| - K | 5.3 | 3.7 | 5.9 | 2.3 | 6.5 | 1.6 | 5.8 | 3.1 | 3.3 | 0.7 |
| - Mg | 5.8 | 4.5 | 5.9 | 3.1 | 6.4 | 3.3 | 6.7 | 3.7 | 4.7 | 1.0 |
| - EM* y S | 1.8 | 1.0 | 3.8 | 0.5 | 2.5 | 0.8 | 5.2 | 2.4 | 2.9 | 1.9 |
| Completo | 5.9 | 4.0 | 5.7 | 3.2 | 7.0 | 3.6 | 6.0 | 3.9 | 4.3 | 3.1 |

* Elementos menores.

siempre los suelos produjeron más que los subsuelos.

No hubo diferencia apreciable de la producción entre los tratamientos testigos, aunque si se nota que los suelos más altos son más pobres. Casi siempre los tratamientos sin fósforo resultaron iguales o ligeramente menores que los testigos. Se observa poca respuesta y algunas veces ninguna a la aplicación de magnesio. La producción del tratamiento completo en los suelos varió de 8 a 43 veces mayor que el testigo, en los perfiles 5 y 10 respectivamente; la variación en los subsuelos fue menor, de 31 a 40 veces mayor que el testigo para los perfiles 10 y 2 respectivamente. Si comparamos la producción del tratamiento completo se notará que para los perfiles intermedios y aluviales es mayor, y menor para el perfil de la cima que es aparentemente más lixiviado y meteorizado.

En el cuadro 43 se muestra la respuesta a la aplicación de los diferentes nutrimentos. Los suelos respondieron altamente a la aplicación del conjunto de elementos, variando su respuesta entre 88 y 98 por ciento sobre el testigo y tomando como base de 100 al completo. La mayor respuesta ocurrió a la aplicación de fósforo, variando entre 84 y 98 por ciento sobre el tratamiento sin fósforo y tomando como base de 100 al completo, esto concuerda con las bajas cantidades de fósforo aprovechable obtenidas en los análisis de los suelos.

La menor respuesta se obtuvo a la aplicación de magnesio, no habiendo respondido en algunas ocasiones, posiblemente debido a las altas cantidades de magnesio cambiante encontradas en los análisis de laboratorio. Las plantas respondieron poco a la

Continuación Cuadro 43.

| | Perfiles | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|--|--|
| | 2 | | 5 | | 6 | | 9 | | 10 | | | |
| | Suelo | Sub-suelo | Suelo | Sub-suelo | Suelo | Sub-suelo | Suelo | Sub-suelo | Suelo | Sub-suelo | | |
| Magnesio | | | | | | | | | | | | |
| g peso seco* | 0.1 | -0.5 | -0.2 | 0.1 | 0.6 | 0.3 | -0.7 | 0.2 | -0.4 | 2.1 | | |
| % sobre menos el elemento** | 2 | -11 | -3 | 3 | 9 | 9 | -10 | 5 | -9 | 210 | | |
| % del completo*** | 2 | -13 | -4 | 3 | 9 | 5 | -12 | 1 | -9 | 68 | | |
| Elementos menores y Azufre | | | | | | | | | | | | |
| g peso seco* | 4.1 | 3.0 | 1.9 | 2.7 | 4.5 | 2.8 | 0.8 | 1.5 | 1.4 | 1.6 | | |
| % sobre menos el elemento** | 228 | 300 | 50 | 540 | 180 | 350 | 15 | 63 | 48 | 83 | | |
| % del completo*** | 70 | 75 | 33 | 85 | 64 | 78 | 13 | 40 | 33 | 52 | | |

* Diferencia en gramos de peso seco al comparar la producción del tratamiento sin el elemento con el tratamiento completo.

** Incremento en peso seco sobre el tratamiento sin el elemento en cuestión, tomando como base de 100 al mismo tratamiento.

*** Incremento en peso seco sobre el tratamiento sin el elemento en cuestión, tomando como base de 100 al tratamiento completo.

aplicación de potasio, siendo mayor la respuesta en el suelo que en el subsuelo. En el suelo del perfil 5 no hubo respuesta a la aplicación de potasio, lo que concuerda con el alto contenido de potasio cambiante en el horizonte superficial.

A excepción del perfil 10, los demás suelos y subsuelos respondieron a la aplicación de nitrógeno. La no respuesta de las plantas de tomate a la aplicación en el suelo del perfil 10 se debe posiblemente a la disponibilidad del nitrógeno de la materia orgánica para el crecimiento de las plantas.

La aplicación de los elementos menores y azufre dieron menor respuesta en el suelo que en el subsuelo, siendo menores para los perfiles localizados en el área escarpada, que para las áreas con pendiente menor al 25 por ciento.

Formulación de la génesis de los suelos

Se entiende por teoría genética el estudio de las propiedades observables o medibles en el suelo, a fin de relacionarlas con su formación en función del medio ambiente y de las características del sitio (21, 63). Una clasificación científica debe estar basada en lo posible en definiciones genéticas del suelo natural, ya que el desarrollo y la vida de los suelos está definida por normas y leyes naturales (54).

La formación calcárea "Las Animas", según el mapa geológico de Dóndoli y Torres (16), se encuentra localizada en la parte más pendiente de la secuencia topográfica. La presencia de esta formación se puede comprobar con las afloraciones calcáreas, de 2 a 3

metros de espesor, a la altura del perfil 7 y a las piedras sueltas superficiales difundidas en el área, también de origen sedimentario. La formación está compuesta de caliza numolítica del Mioceno en el Cenozoico Inferior, sepultada más tarde por masas lávicas y de aglomerados.

La cercanía del Volcán Turrialba y la presencia en el área, de piedras y rocas volcánicas de tipo andesítico indican la influencia de los materiales volcánicos a lo largo de la secuencia topográfica. El origen geológico de esta área parece estar asociado con un levantamiento ocasionado por fallamientos que tornaron el lugar, posiblemente en conexión con las actividades del Volcán Turrialba. Luego este depositó sus materiales lávicos sobre los materiales sedimentarios representados en la caliza numolítica. La parte más baja pudo haber sido rellenada por materiales arrastrados por las corrientes naturales, en este caso por el Río Azul.

Los suelos han sido formados bajo condiciones de alta precipitación, mediana temperatura y alta humedad relativa, lo que favorece la formación progresiva de suelos lateríticos.

Debido a la gran variación de los materiales parentales aluviales, sedimentarios y volcánicos, los suelos son muy variables y es difícil establecer una génesis para la secuencia topográfica; sin embargo, de acuerdo al material parental, a las características observadas en el área y a los resultados de los análisis de laboratorio y ensayo de invernadero, se pueden dividir en varios grupos dando una génesis para cada conjunto de perfiles estudiados.

a) Suelos de origen aluvial muy recientes y sujetos a continuos cambios o rejuvenecimientos, en las partes más cercanas al cauce, causados por materiales depositados sobre el terreno durante frecuentes inundaciones. A estos suelos corresponde el perfil 1 del plano inundable, donde se observa la abundancia de materiales arenosos y pedregosos, el bajo contenido de materia orgánica, baja relación C/N, pH ligeramente ácido, una capacidad de intercambio moderada y una fertilidad nativa adecuada. Las limitaciones más grandes en este suelo son los daños que pueden causar las inundaciones y el alto nivel freático.

b) Son suelos aluviales menos recientes que los anteriores donde ha actuado más la meteorización. En ellos se observa la influencia de lavas volcánicas y materiales calcáreos desprendidos de las partes más elevadas. Estos suelos descansan sobre un aglomerado de piezas grandes (16) y corresponden a los perfiles 2 y 3; el último perfil está sepultado por materiales aluviales jóvenes pero no recientes y por otros materiales coluviales de las áreas aledañas más altas; en ellos se nota el principio de formación del suelo latosol, caracterizado por la coloración pardo oscura de los horizontes profundos y el contenido, aunque mediano, de sesquióxidos de hierro y aluminio libres. Los perfiles 4 y 5, también de origen aluvial, se encuentran a mayor elevación que los anteriores y en ellos han actuado mayormente la meteorización y la lixiviación y además están más contaminados de materiales coluviales.

c) Suelos coluviales. Son suelos formados sobre coluvios producidos por la erosión acelerada o por derrumbes durante la

estación lluviosa, cuando los suelos están sobresaturados de agua. A estos suelos pertenece el perfil 6 que muestra una textura media, alta capacidad de cambio y materia orgánica, y un contenido apreciable de bases cambiables, especialmente en el horizonte superficial. Este perfil se estudió a fin de determinar si esta era una área coluvial. La presencia de masas de tierra interceptando vías de drenaje parecen ser evidencias de coluviamiento que constantemente rejuvenecen el paisaje y los suelos en el trópico húmedo caliente.

d) Suelos de ladera. Estos suelos ocupan la parte más pendiente de la secuencia topográfica, caracterizados por una excesiva erosión rejuvenecedora y una pedregosidad superficial. A estos suelos pertenecen los perfiles 7, 8 y 9 de la secuencia topográfica. En el área ocupada por el perfil 7 ocurre un afloramiento de roca calcárea que influencia grandemente sus propiedades; además en esta área han quedado depositados en parte los materiales erosionados de los lugares más altos; este perfil no guarda mucha relación pedogenética con el resto de los perfiles. Los perfiles 8, 9 y 10 guardan una relación en la meteorización, siendo más desarrollados a medida que se aumenta en altura. Los perfiles 9 y 10 han adquirido ya algunas propiedades de latosoles.

e) Suelos de cima sobre superficies viejas levantadas. El perfil 10 corresponde a un suelo de cima formado sobre una superficie vieja que luego sufrió un levantamiento para ocupar la posición actual. Este levantamiento inició el nuevo ciclo de erosión responsable de la formación de la secuencia topográfica, tanto de

los suelos aluviales, como los suelos coluviales y de ladera. Si esta secuencia topográfica no se hubiera formado sobre una superficie vieja levantada y plana, sino más bien sobre una roca recién expuesta, el perfil posiblemente sería un litosol y no un latosol. El perfil 10 representa en efecto un suelo más cercano a un latosol, como se deja ver en sus propiedades, perfil profundo con horizontes definidos, pH ácido, textura arcillosa, relativamente bajo porcentaje de saturación de bases y un alto contenido de óxidos libres de hierro y aluminio, que concuerdan con las características dadas por Hardy (26) para un latosol senil, representado en la Serie Colorado; sin embargo, la presencia de otros materiales como la roca calcárea hace que su desarrollo no sea típicamente laterítico.

De acuerdo a la Séptima Aproximación (61) estos suelos de desarrollo más avanzado pertenecen al Orden de los Oxisoles y más propiamente al Sub-orden Udox, caracterizado por la presencia de horizontes subyacentes ricos en sesquióxidos de hierro y aluminio libres, además de estar formados bajo condiciones de constante precipitación, con períodos secos no mayores a 30 días.

Resumiendo, se puede pensar, que una posible formación de los suelos de esta área ha sido la siguiente: Se inició con una falla geológica que levantó el material sedimentario calcáreo y de areniscas, que luego fue cubierto por materiales volcánicos; con el tiempo se fue formando y erosionando el suelo lo cual causó en algunos sitios el afloramiento de la formación sedimentaria que se ha ido diseminando en el área e influyendo la formación de los suelos.

Para los suelos planos, se puede decir, que la parte más baja fue rellenada por los materiales de las partes altas, acarreados por las corrientes naturales y en parte por la gravedad, dando origen a los diferentes estados de los suelos aluviales. El perfil de la cima es en gran parte un residuo del suelo originalmente encontrado en la vieja superficie antes del fallamiento o levantamiento.

Trabajo sobre potencialidad de la tierra

De acuerdo a las 8 clases de tierras, con diferentes capacidades agrícolas, descritas por el USDA (62) en el Manual de Conservación de Suelos y teniendo en cuenta las observaciones realizadas en el campo, los análisis químicos y físicos del laboratorio y los resultados del ensayo de invernadero, se elaboró un pequeño mapa de potencialidad de la tierra (41), representado en el gráfico 2. Las siguientes clases de tierras fueron establecidas.

Clase III. A excepción de la clase V, ocupa las partes más planas de la secuencia topográfica, son suelos profundos de apreciación textural mediana, con piedras superficiales, cantidades moderadas de elementos nutritivos que responden a la aplicación de fertilizantes, sobre todo al fósforo, elementos menores y azufre. En ellos es necesario establecer sistemas de drenajes para permitir una más rápida eliminación del exceso de agua de lluvia. Es recomendable para la ganadería intensiva, también para cultivos permanentes como caña de azúcar, café y plátano, y para cultivos anuales como arroz y maíz.

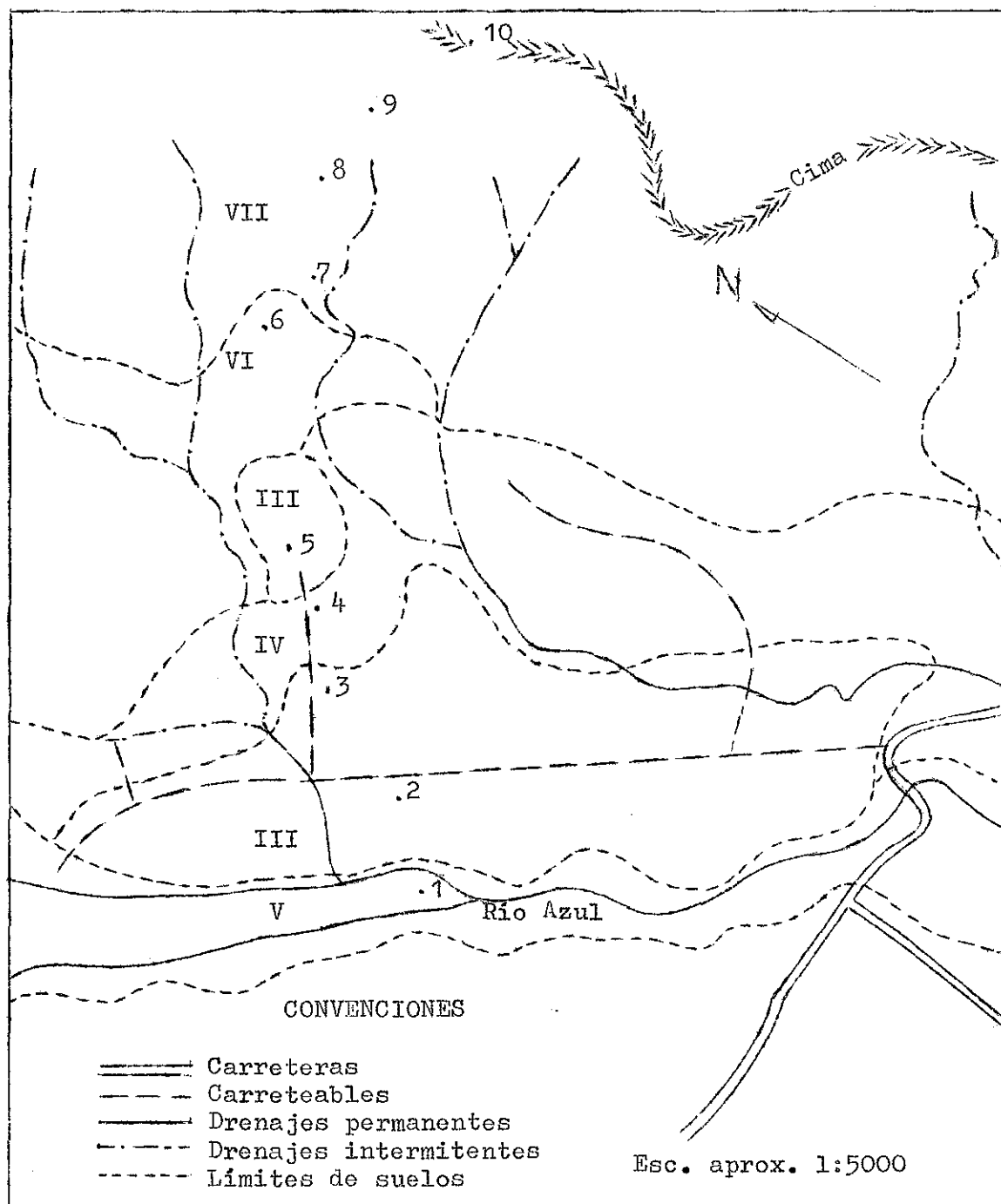


Figura 2. Mapa de potencialidad de la tierra y localización de los perfiles estudiados.

Clase IV. Suelos ondulados, con pendientes menores del 15 por ciento, piedras y rocas superficiales de tamaño variable que pueden alcanzar hasta 100 cm de diámetro; profundos, de apreciación textural mediana, bajos en elementos nutritivos aprovechables por las plantas, pero responden bien a la aplicación de fertilizantes, principalmente al nitrógeno, fósforo, elementos menores y azufre. Se deben dedicar al pastoreo, aunque también se pueden establecer cultivos como café y caña de azúcar.

Clase V. Ocupa la parte más baja de la secuencia topográfica. Son suelos que se inundan frecuentemente por desbordamientos del Río Azul; hay altos contenidos de piedras tanto en la superficie como a lo largo del perfil; son bajos en elementos nutritivos aprovechables por los cultivos, sin embargo la fertilidad potencial es alta debido al contenido de materiales primarios no meteorizados. Estos son suelos de poco valor agrícola debido a la poca superficie, a los peligros de inundaciones y a los niveles variables de la capa freática.

Clase VI. Suelos quebrados con 25-50 por ciento de pendiente, donde se encuentran piedras y rocas hasta de 100 cm de diámetro, cubriendo más del 10 por ciento de la superficie. Son medianamente profundos y de apreciación textural mediana, poseen baja fertilidad y responden bien a la aplicación de fertilizantes, sobre todo al nitrógeno, fósforo, elementos menores y azufre. Por la cantidad y tamaño de las piedras superficiales, al igual que su topografía, no son recomendables para explotaciones agrícolas, sino

más bien para pastos y bosques, aunque con severas restricciones se pueden dedicar al cultivo del café o de cítricos.

Clase VII. Suelos escarpados con pendientes mayores del 50 por ciento y excesiva erosión; se encuentran piedras y rocas superficiales en cantidades variables, desde escasas hasta afloraciones calcáreas. Son suelos poco profundos, textura fina, pobres en elementos nutritivos para las plantas y responden bien a la fertilización, sobre todo al fósforo, nitrógeno, elementos menores y azufre. Hay respuestas medianas a la aplicación de potasio. Por lo inclinado del terreno no se pueden dedicar a cultivos ni a pastoreo; se deben ocupar con bosques, seleccionando las especies que mejor se adapten a la zona y produzcan económicamente. La parte ocupada por la cima pertenece a una mejor clase, pero debido a lo pequeño del área es más conveniente dejarla dentro de la clase VII.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

El trabajo fue realizado a lo largo de una secuencia topográfica, a 2.5 km al Noreste de Turrialba; se inicia en un drenaje natural en el Valle de Turrialba, se continúa por las estribaciones de la Cordillera Central hasta la cima. La secuencia topográfica, con una longitud horizontal de 750 m y una diferencia de altura de 170 m, pertenece al Bosque muy Húmedo Subtropical, según la clasificación de Holdridge (31).

El trabajo se dividió en cuatro fases: 1) Reconocimiento de campo, haciendo observaciones y descripciones de suelos a lo largo de la secuencia topográfica y luego determinando sitios para hacer calicatas y tomar muestras de los horizontes, 2) Las muestras fueron llevadas al laboratorio para hacerles análisis químicos y granulométricos, 3) Se tomaron muestras, aproximadamente 40 kg, de suelo y de subsuelo de algunos perfiles para ensayos de invernadero con plantas de tomate y 4) De acuerdo con los datos obtenidos anteriormente se determinó la potencialidad de la tierra.

Los suelos encontrados se dividieron en: a) Suelos de aluviones muy recientes, sujetos a continuos cambios o rejuvenecimientos; localizados en las partes más cercanas al cauce del Río Azul, b) Suelos aluviales más desarrollados que los anteriores, c) Suelos coluviales, producidos por la erosión acelerada o por derrumbes durante la estación lluviosa, d) Suelos de ladera, que ocupa la parte más pendiente de la secuencia topográfica, caracterizados por una excesiva erosión rejuvenecedora y una pedregosidad

superficial y e) Suelos de cima, correspondientes a los suelos más desarrollados de la secuencia topográfica.

Las siguientes son las conclusiones obtenidas en la realización del trabajo:

1. No existe diferenciación marcada en la coloración de los horizontes, sin embargo se vuelven más claros a medida que se profundiza en el perfil, especialmente en los más elevados de la secuencia topográfica.
2. Los suelos adquieren una textura más fina a medida que se aumenta en altura, se eleva el contenido de arcilla, disminuye la arena y permanece el limo con ligeras variaciones.
3. La estructura dominante de los horizontes es de tipo bloque subangular, grado moderado y tamaño medio. Generalmente la consistencia es friable en húmedo, en mojado varía de ligeramente plástica a plástica y de ligeramente pegajosa a pegajosa.
4. Tanto en agua como en cloruro de calcio el pH tiende a disminuir con la altura, solo que a la altura del perfil 7 ocurre un aumento debido a las afloraciones calcáreas que se encuentran en esta área.
5. Los contenidos totales de nitrógeno y carbono disminuyen con la profundidad, sin embargo en el perfil 3, se notó un aumento debido a que los tres últimos horizontes están enterrados. En el segundo horizonte del perfil 1 también se registró un aumento en el contenido de nitrógeno y carbono totales, ya

que el primer horizonte representa una deposición arenosa relativamente reciente.

6. La relación C/N resultó baja, posiblemente debido a que parte del amonio fijado en los suelos puede ser liberado por el método de Kjeldahl y luego expresado como porcentaje de nitrógeno total. La relación C/N generalmente decreció con la profundidad y permaneció más o menos constante con la altura.
7. La capacidad de intercambio catiónico permanece con ligeras variaciones en los horizontes de cada perfil, no obstante en algunos se observa un ligero aumento con la profundidad. La capacidad de cambio fue más baja en el perfil aluvial muy reciente y en el perfil de la cima, alcanzando los valores más altos en los perfiles de la ladera.
8. El contenido de calcio, aunque alto, es poco variable entre los horizontes de cada perfil, esto concuerda con la descripción geológica de la formación calcárea "Las Animas" (16), que aflora en el área estudiada. Los perfiles intermedios, donde aflora la roca calcárea, contienen las mayores cantidades de calcio.
9. El contenido de magnesio es variable para los perfiles, sin embargo tiende a alcanzar los mayores niveles en los perfiles intermedios donde aflora la roca calcárea.
10. En general el potasio es mayor en el primer horizonte, disminuyendo luego con la profundidad. Los mayores niveles se alcanzaron en los suelos bajos aluviales.

11. El fósforo aprovechable tiende a disminuir con la profundidad y se encuentra en pocas cantidades, en parte debido a la capacidad de fijación de las arcillas, de los sesquióxidos y de los coloides. Las grandes cantidades de fósforo del perfil 3, se deben a las adiciones de materia orgánica y a la posible fertilización con abonos fosfatados.
12. El óxido de hierro libre permanece más o menos constante en los horizontes de un mismo perfil y tiende a aumentar considerablemente con la altura, lo que parece concordar con el aumento en el contenido de arcilla y en el grado de meteorización.
13. El contenido de óxido de aluminio libre permanece constante en los horizontes de un mismo perfil y en los perfiles de la secuencia topográfica; solamente los perfiles 6 y 10 denotan un aumento.
14. En el ensayo de invernadero, en todos los tratamientos, la producción del suelo fue mayor que la del subsuelo, aún cuando el subsuelo tendió a responder mejor al abonamiento. La respuesta a la aplicación de elementos fue mayor para el fósforo seguida de elementos menores y azufre, nitrógeno, potasio y por último magnesio, que en algunos casos no dio respuesta.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

The work was performed on a toposequence 2.5 kilometers north east of Turrialba. It began in a natural drainage of the Turrialba Valley and continued up the slope of the Cordillera Central and ended at the summit. According to Holdridge's classification (31), the toposequence, with a horizontal distance of 750 meters and a difference of elevation of 170 meters, belong to subtropical moist forest.

The work was divided into four phases, as follows: 1) Field reconnaissance, making observations and descriptions of the soils on the toposequence and later determining sites in order to dig test pits and to take samples of the horizons, 2) The samples were taken to the laboratory in order to make chemical and granulometric analysis, 3) Samples of approximately 40 kg, were taken, of the topsoil and subsoil of some profiles in order to carryout greenhouse trials with tomato plants, and 4) Land Capability was determined from this data.

The soils encountered were divided into the following groups:

- a) Soils of very recent alluvium, subject to continuous change and rejuvenation located in the nearest parts of the bed of the Rio Azul (Blue River),
- b) Alluvial soils those were developed more than the former ones,
- c) Colluvial soils, produced by the accelerated erosion or by landslides during the rainy season,
- d) Slopy soils, which occupy the steepest gradient of the toposequence, characterized by an excessive rejuvenation erosion and a superficial stoniness,

and e) Summit soils, corresponding to the more developed soils of the toposequence.

The following are the conclusions:

1. There is no marked differentiation in the color of the horizons, however, the color becomes brighter as they go deeper in the profile, especially in the more elevated parts of the toposequence.
2. As the elevation increases, the soils acquire a finer texture the content of clay is increased, decreases the sand and the lime remains with small variations.
3. The dominant structure of the horizons is the subangular blocky type, moderate grade and medium size. Generally the consistency is friable when moist; on wetting it varies from slightly plastic to plastic and from slightly sticky to sticky.
4. As well in water as in calcium chloride the pH tends to diminish with elevation, only that at the top of profile 7 occurs an increase owing to the calcareous outcrop which is encountered in the area.
5. The total content of nitrogen and carbon diminishes with depth, however, in profile 3 an increase is noted, due to the fact that the three last horizons are buried. In the second horizon of profile 1 is registered also an increase in the content of total nitrogen and carbon, since the first horizon represents and relatively recent sand deposit.

6. The low C/N ratio results possibly due to part of the fixed ammonia in the soils can be liberated by Kjeldahl's method later expressed as the percentage of total nitrogen. The C/N ratio generally decreases with the depth and remains more or less constant with the elevation.
7. The cation exchange capacity remains constant, with slight variations in the horizons of each profile, however, in some cases a slight increase is observed with depth. The capacity of change was lower in the very recent alluvial profile and in the profile of the summit, reaching the higher values in the profiles of the slope.
8. The content of calcium, although high, is a little variable factor between the horizons of each profile, this agrees with the geological description of the calcareous formation "Las Animas" which outcrops in the study area. The intermediate profiles, where the limestone outcrops, contain the highest quantities of calcium.
9. The contents of magnesium is variable between the profiles, however, tends to attain the highest levels in the profiles of the intermediate portion of the toposequence, where the limestone outcrops.
10. In general the potassium is higher in the first horizon, diminishing with depth. The highest levels were reached in the alluvial soils.

11. The available phosphorus tends to diminish with depth and is encountered in small quantities, due in part to the stability capacity of the clays, sesquioxides and colloids. The great quantities of phosphorus in profile 3, is due to the addition of organic material and to the possible fertilization with fertilizer phosphates.
12. The free oxide of iron remains more or less constant in the horizons of each profile and tend to increase considerably with height; that seems to coincide with the increase in the content of clay and in the degree of weathering.
13. The content of free aluminum oxide remains constant in the horizons of a single profile as well in the profiles of the toposequence; only the profiles 6 and 10 denote an increase.
14. In all greenhouse experiments the yield of tomato was greater in top soils as compared with subsoils; however the response to fertilizer was proportionately greater in subsoils as compared with top soils. The response to the application of elements was greater for phosphorus followed by minor elements and sulphur, nitrogen, potassium and magnesium, which in some cases did not give response.

BIBLIOGRAFIA

1. ALLISON, L. E. Organic carbon. In Black, C. A. et al. Methods of soil analysis; chemical and microbiological properties. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. Agronomy nº 9 (part. 2):1367-1378.
2. BENNEMA, J. The red and yellow soils of the tropical and sub tropical uplands. Soil Science 95(4):250-257. 1963.
3. BLACK, I. A. Theoretical errors of hydrometer methods for the mechanical analysis of soils. Journal of Soil Science 2(1):118-133. 1951.
4. BORNEMISZA, E. Acidez, contenido de potasio y materia orgánica de algunos suelos de Costa Rica. San José, Costa Rica, STICA, 1959. 15 p. (mimeografiado).
5. _____ El fósforo orgánico en suelos tropicales. Turrialba (Costa Rica)16(1):33-38. 1966.
6. _____ e IGUE, K. Oxidos libres de hierro y aluminio en suelos tropicales. Turrialba (Costa Rica) 17(1):23-30. 1967.
7. BRAY, R. H. y KURTZ, L. T. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. Soil Science 59:39-45. 1945.
8. BREMNER, J. M. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. Journal of Agricultural Science 55(1): 11-31. 1960.
9. BUCKMAN, H. O. y BRADY, N. C. The nature and properties of soils. 6th ed. New York; Macmillan, 1960. 567 p.
10. BUNTING, A. H. The catena: a contribution to a discussion. Soil and Fertilizers 16(5):331-334. 1953.
11. CHANG, S. C. y JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. Soil Science 84(2):133-144. 1952.
12. CHENERY, E. M. A preliminary study of aluminium and the tea bush. Plant and Soil 6(2):174-200. 1955.
13. DAPLES, E. C. Basic geology for science and engineering. New York, Wiley, 1959. 609 p.

14. DAZA, J. Comparación entre el método de Neubauer y otros métodos para la determinación de fósforo aprovechable en suelos. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1965. 63 p. (mimeografiado).
15. DHARIWAL, A. P. y STEVENSON, F. J. Determination of fixed ammonium in soils. *Soil Science* 86(6):343-349. 1958.
16. DONDOLI, C. 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.
17. DUDAL, R. y SOEPRAPTOHARDJO, M. Some considerations on the genetic relationship between latosols and andosols in Java (Indonesia). *International Congress of Soil Science, 7th., Madison, Wisc., 1960.* 4:229-237. 1961.
18. ELLIS, B. S. Genesis of a tropical red soil. *Journal of Soil Science* 3(1):52-62. 1952.
19. _____ Soil genesis and classification. *Soils and Fertilizers* 21(3):145-147. 1958.
20. FASSBENDER, H. Formas de los fosfatos en algunos suelos de la zona oriental de la Meseta Central y de las Llanuras Atlánticas de Costa Rica. *Fitotecnia Latinoamericana (Costa Rica)* 3(1-2):187-202. 1966.
21. GERASIMOV, I. P. y GLAZOVSKA, M. A. Fundamentals of soil science and soil geography. Translated from Russian by Gourevitch, A. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations, 1965. 381 p.
22. GRIFFITH, G. ap. "Catena". *Soils and Fertilizers* 15(3): 169-170. 1952.
23. HALLSWORTH, A. B. et al. Studies in pedogenesis in New South Wales; the chocolate soils. *Journal of Soil Science* 3(1):103-124. 1952.
24. HALLSWORTH, E. G. The relationship between experimental pedology and soil classification. In _____ y Crawford, D. V. eds. *Experimental pedology.* London, Butterworths, 1965. pp. 354-374.
25. HARDY, F. Some aspects of tropical soils. *International Congress of Soil Science, 3rd., Oxford, England.* 2: 150-163, 1935.

26. HARDY, F. y BAZAN, R. Studies in Costa Rican soils. Inter-American Institute of Agricultural Sciences. Turrialba, Costa Rica. Pag. var. 1963.
27. _____ y RODRIGUES, G. Soil genesis from andesite in Grenada, British West Indies. Soil Science 48:361-384. 1939. ✓
28. _____ y RODRIGUES, G. Soil genesis from fragmental volcanic rocks in Lesser Antilles. Soil Science Society of America Proceedings 6:47-51. 1941. ✓
29. HARRIS, S. A. On the classification of latosols and tropical brown earths of high-rainfall areas. Soil Science 96(3): 210-216. 1963. ✓
30. HASHIMOTO, I. y JACKSON, M. L. Rapid dissolution of allophane and kaolinite-halloysite after dehydration. National Conference on Clays and Clay Minerals, 7th., Washington, D. C., 1958. pp. 102-113. 1960.
31. HOLDRIDGE, L. R. Life zone ecology. San José, Costa Rica, Tropical Science Center, 1964. 124 p. ✓
32. IGNATIEFF, V. y PAGE, H. El uso eficaz de los fertilizantes. Roma, F.A.O., 1959. 379 p. (FAO - Estudios Agropecuarios nº 43).
33. INTER-AMERICAN INSTITUTE OF AGRICULTURAL SCIENCES. Summary of meteorological data from initiation measurements to dec. 31, 1966. Turrialba, Costa Rica, 1967? 1 h. (mimeografiado).
34. JACKSON, M. L. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1958. 498 p.
35. _____ Soil chemical analysis; advanced course. Madison, Wisc., Department of Soils, University of Wisconsin, 1956. 791 p.
36. JACOB, A. y UEXKULL, H. von. Fertilización; nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. 3a ed. Traducido del inglés por López, L. Hannover, Verlagsgesellschaft für Ackerbau, 1966. 626 p.
37. KACHINSKII, N. A. Mechanical and microaggregate composition of soils; methods of investigation. Translated from Russian by Gourevitch, A. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations, 1966. 134 p.

38. KELLOGG, C. E. VI Section of tropical and subtropical soils. International Congress of Soil Science, 4th., Amsterdam, 1950. 1:266-276. 1950. ✓
39. KILMER, V. J. The estimation of free iron oxides in soils. Soil Science Society of America Proceedings 24:420-421. 1960.
40. _____ y ALEXANDER, L. T. Methods of making mechanical analysis of soils. Soil Science 68:15-24. 1949.
41. LAFAURIE, J. V. Clasificación y valoración de tierras; interpretación ponderal del suelo. Bogotá, D. E., Editorial Centro Inst. Gráfico, 1946. 120 p.
42. MARTINI, J. A. Algunos suelos de Centro América y México. Fitotecnia Latinoamericana (Costa Rica). 1967. (en prensa). ✓
43. _____ Chemical, mineralogical and physical properties of seven surface soils from Panama with special reference to cation exchange capacity and potassium status. Ph.D. Thesis. Ithaca, New York, Cornell University, 1966. (mimeografiada).
44. _____ Informe técnico 1967. Turrialba, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1967. (en prensa).
45. MILLAR, C. E. Fertilidad del suelo. Traducción del inglés por Hernando, V. Barcelona, Salvat, 1964. 477 p.
46. MOHR, E. C. Tropical soils; a critical study of soil genesis as related to climate, rock and vegetation. New York, Inter-Science Publishers, 1954. 498 p. ✓
47. MUNSELL SOIL color charts. Baltimore, Munsell Color Co., Inc., 1954. 20 p.
48. NYE, P. H. Some soil-forming processes in the humid tropics; a field study of a catena in the West African Forest. Journal of Soil Science 5(1):7-21. 1954. ✓
49. PEECH, M. et al. Methods of soil analysis for soil fertility investigations. USDA Circular 757. 1947. 25 p.
50. SAIZ DEL RIO, J. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos; métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, Departamento de Energía Nuclear, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1961. 107 p.

51. SCHOFIELD, R. K. y WORMALD, T. The measurement of soil pH. Soil Science Society of America Proceedings 19:164-167. 1965.
52. SCHUYLENBORGH, J. van. The formation of sesquioxides in soils. In Hallsworth, E. G. y Crawford, D. V. eds. Experimental pedology. London, Butterworths, 1965. pp. 113-125.
53. SHERMAN, G. D. Factors influencing the development of lateritic and laterite soils in the Hawaiian Islands. In Soils. s.n.t. pp. 243-251. (mimeografiado).
54. SIBIRTSEV, N. M. Soil science. Translated from Russian by Kaner, N. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations, 1966. 353 p.
55. SIMONSON, R. W. Outline of a generalized theory of soil genesis. Soil Science Society of America Proceedings 23:152-156. 1959.
56. SIVARAJASINGHAM, S. et al. Laterite. Advances in Agronomy 14:1-60. 1962.
57. SOILEAU, J. M. y McCracken, R. J. Free iron coloration in certain well-drained coastal plain soils in relation to their other properties and classification. Soil Science Society of America Proceedings 31(2):248-255. 1967.
58. STEWART, B. A. y PORTER, L. K. Inability of the Kjeldhal method to fully measure indigenous fixed ammonium in some soils. Soil Science Society of America Proceedings 27:41-43. 1963.
59. TURTON, A. G. et al. The chemistry and mineralogy of lateritic soils in the Southwest of Western Australia. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Soil Publication n^o 20. 1962. 40 p.
60. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE; SOIL SURVEY STAFF. Soil survey manual. Washington, D. C., U.S. Government Printing Office, 1951. 503 p. (U.S.D.A. Agriculture Handbook n^o 18).
61. _____ Soil classification; a comprehensive system. Washington, D. C., U.S. Government Printing Office, 1960. 265 p.

62. U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE. Manual de conservación de suelos. Washington, D. C., U.S. Department of Agriculture, 1958. 332 p. (Publicación TC-243).
63. VILLIERS, J. M. de. Present soil-forming factors and processes in tropical and subtropical regions. Soil Science 99(1):50-57. 1965.
64. WATSON, J. P. A soil catena on granite in Southern Rhodesia. Journal of Soil Science 15(2):238-257. 1964.
65. WEBSTER, R. A catena soils on the Northern Rhodesia Plateau. Journal of Soil Science 16(1):31-43. 1965.
66. _____ Soil genesis and classification in Central Africa. Soil and Fertilizers 23(2):77-79. 1960.
67. WINTERS, E. Interpretative soil classifications: genetic groupings. Soil Science 67:131-139. 1949.

A P E N D I C E S

Apéndice 1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE INVERNADERO

Producción de peso seco (gramos) por maceta de las plantas de tomate, según diferentes tratamientos.

Perfil 2

Suelo:

| Tratamiento | Repeticiones | | | | Total | Promedio |
|-----------------|--------------|-----|-----|-----|-------|----------|
| | I | II | III | IV | | |
| Testigo | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 1.4 | 0.4 |
| Menos N | 4.6 | 4.3 | 4.3 | 5.0 | 18.2 | 4.6 |
| Menos P | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 1.8 | 0.5 |
| Menos K | 5.6 | 4.6 | 5.9 | 5.0 | 21.1 | 5.3 |
| Menos Mg | 5.8 | 5.4 | 5.9 | 5.9 | 23.0 | 5.8 |
| Menos E.M.* y S | 1.8 | 1.7 | 1.7 | 1.9 | 7.1 | 1.8 |
| Completo | 5.8 | 5.7 | 6.1 | 6.1 | 23.7 | 5.9 |

Subsuelo:

| Tratamiento | Repeticiones | | | | Total | Promedio |
|-----------------|--------------|-----|-----|-----|-------|----------|
| | I | II | III | IV | | |
| Testigo | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.1 |
| Menos N | 1.0 | 1.0 | 1.2 | 1.0 | 4.2 | 1.1 |
| Menos P | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.1 |
| Menos K | 3.8 | 3.5 | 3.6 | 4.1 | 15.0 | 3.7 |
| Menos Mg | 4.3 | 4.2 | 4.4 | 5.2 | 18.1 | 4.5 |
| Menos E.M.* y S | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 4.0 | 1.0 |
| Completo | 3.8 | 3.9 | 3.9 | 4.4 | 16.0 | 4.0 |

* Elementos menores.

Apéndice 1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE INVERNADERO (continuación)

Producción de peso seco (gramos) por maceta de las plantas de tomate, según diferentes tratamientos.

Perfil 5

Suelo:

| Tratamiento | Repeticiones | | | | Total | Promedio |
|-----------------|--------------|-----|-----|-----|-------|----------|
| | I | II | III | IV | | |
| Testigo | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 2.8 | 0.7 |
| Menos N | 2.0 | 2.0 | 2.1 | 2.4 | 8.5 | 2.1 |
| Menos P | 0.8 | 1.2 | 0.9 | 0.7 | 3.6 | 0.9 |
| Menos K | 5.9 | 6.3 | 5.8 | 5.8 | 23.8 | 5.9 |
| Menos Mg | 5.7 | 5.9 | 6.0 | 6.1 | 23.7 | 5.9 |
| Menos E.M.* y S | 3.7 | 3.8 | 3.7 | 3.9 | 15.1 | 3.8 |
| Completo | 5.8 | 5.3 | 5.5 | 6.2 | 22.8 | 5.7 |

Subsuelo:

| Tratamiento | Repeticiones | | | | Total | Promedio |
|-----------------|--------------|------|------|------|-------|----------|
| | I | II | III | IV | | |
| Testigo | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.1 |
| Menos N | 0.5 | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 1.9 | 0.5 |
| Menos P | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.2 | 0.1 |
| Menos K | 2.4 | 2.1 | 2.4 | 2.5 | 9.4 | 2.3 |
| Menos Mg | 2.8 | 3.2 | 3.1 | 3.2 | 12.3 | 3.1 |
| Menos E.M.* y S | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.4 | 2.0 | 0.5 |
| Completo | 3.3 | 3.0 | 3.4 | 3.2 | 12.9 | 3.2 |

* Elementos menores.

Apéndice 1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE INVERNADERO (continuación)

Producción de peso seco (gramos) por maceta de las plantas de tomate, según diferentes tratamientos.

Perfil 6

Suelo:

| Tratamiento | Repeticiones | | | | Total | Promedio |
|----------------|--------------|-----|-----|-----|-------|----------|
| | I | II | III | IV | | |
| Testigo | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 1.7 | 0.4 |
| Menos N | 6.8 | 5.8 | 6.0 | 6.5 | 25.1 | 6.3 |
| Menos P | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.9 | 0.2 |
| Menos K | 6.5 | 5.8 | 6.7 | 6.8 | 25.8 | 6.5 |
| Menos Mg | 6.7 | 6.3 | 6.5 | 5.9 | 25.4 | 6.4 |
| Menos E.M* y S | 2.8 | 2.1 | 2.6 | 2.5 | 10.0 | 2.5 |
| Completo | 6.4 | 6.7 | 7.6 | 7.3 | 28.0 | 7.0 |

Subsuelo:

| Tratamiento | Repeticiones | | | | Total | Promedio |
|----------------|--------------|------|------|------|-------|----------|
| | I | II | III | IV | | |
| Testigo | 0.05 | 0.05 | 0.1 | 0.05 | 0.25 | 0.1 |
| Menos N | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 3.5 | 0.9 |
| Menos P | 0.05 | 0.1 | 0.05 | 0.1 | 0.3 | 0.1 |
| Menos K | 1.6 | 1.8 | 1.6 | 1.6 | 6.6 | 1.6 |
| Menos Mg | 2.9 | 2.8 | 3.1 | 3.5 | 13.3 | 3.3 |
| Menos E.M* y S | 0.7 | 0.8 | 0.6 | 0.9 | 3.0 | 0.8 |
| Completo | 3.8 | 3.4 | 3.6 | 3.4 | 14.2 | 3.6 |

* Elementos menores.

Apéndice 1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE INVERNADERO (continuación)

Producción de peso seco (gramos) por maceta de las plantas de tomate, según diferentes tratamientos.

Perfil 8

Suelo:

| Tratamiento | Repeticiones | | | | Total | Promedio |
|----------------|--------------|-----|-----|-----|-------|----------|
| | I | II | III | IV | | |
| Testigo | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 1.5 | 0.4 |
| Menos N | 3.2 | 2.9 | 2.9 | 2.7 | 11.7 | 2.9 |
| Menos P | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.1 |
| Menos K | 5.8 | 5.6 | 5.8 | 6.1 | 23.3 | 5.8 |
| Menos Mg | 7.2 | 6.6 | 6.8 | 6.4 | 27.0 | 6.7 |
| Menos E.M* y S | 5.6 | 4.8 | 5.5 | 4.8 | 20.7 | 5.2 |
| Completo | 5.7 | 6.3 | 5.9 | 6.2 | 24.1 | 6.0 |

Subsuelo:

| Tratamiento | Repeticiones | | | | Total | Promedio |
|----------------|--------------|------|-----|-----|-------|----------|
| | I | II | III | IV | | |
| Testigo | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.1 |
| Menos N | 1.5 | 1.6 | 1.5 | 1.6 | 6.2 | 1.6 |
| Menos P | 0.05 | 0.05 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.1 |
| Menos K | 3.0 | 3.1 | 3.0 | 3.1 | 12.2 | 3.1 |
| Menos Mg | 3.7 | 3.6 | 4.3 | 3.2 | 14.8 | 3.7 |
| Menos E.M* y S | 2.3 | 2.5 | 2.2 | 2.5 | 9.5 | 2.4 |
| Completo | 3.8 | 4.2 | 3.5 | 3.9 | 15.4 | 3.9 |

* Elementos menores.

Apéndice 1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE INVERNADERO (continuación)

Producción de peso seco (gramos) por maceta de las plantas de tomate, según diferentes tratamientos.

Perfil 10

Suelo:

| Tratamiento | Repeticiones | | | | Total | Promedio |
|----------------|--------------|-----|-----|-----|-------|----------|
| | I | II | III | IV | | |
| Testigo | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.1 |
| Menos N | 4.5 | 5.1 | 4.8 | 5.0 | 19.4 | 4.9 |
| Menos P | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.1 |
| Menos K | 3.2 | 3.1 | 3.5 | 3.5 | 13.3 | 3.3 |
| Menos Mg | 4.5 | 4.6 | 4.8 | 4.7 | 18.6 | 4.7 |
| Menos E.M* y S | 2.7 | 2.9 | 3.1 | 2.8 | 11.5 | 2.9 |
| Completo | 4.4 | 4.4 | 4.2 | 4.2 | 17.2 | 4.3 |

Subsuelo:

| Tratamiento | Repeticiones | | | | Total | Promedio |
|----------------|--------------|------|------|------|-------|----------|
| | I | II | III | IV | | |
| Testigo | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.2 | 0.1 |
| Menos N | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 2.5 | 0.6 |
| Menos P | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.2 | 0.1 |
| Menos K | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 2.7 | 0.7 |
| Menos Mg | 0.9 | 1.2 | 1.1 | 0.9 | 4.1 | 1.0 |
| Menos E.M* y S | 1.9 | 2.1 | 1.7 | 1.7 | 7.4 | 1.9 |
| Completo | 3.0 | 3.2 | 3.1 | 3.1 | 12.4 | 3.1 |

* Elementos menores.

Apéndice 2. Resultados de los contenidos de óxido de hierro libre, según diferentes métodos.

| Profundidad | % Fe ₂ O ₃ libre | | Abs./titul. |
|-------------|--|---------------------|-------------|
| | Titulación* | Absorción atómica** | |
| Perfil 1 | | | |
| 0-10 | 1.68 | 2.70 | 1.60 |
| 10-25 | 2.10 | 3.20 | 1.52 |
| 25-40 | 2.10 | 3.20 | 1.52 |
| 40-70 | 2.96 | 3.10 | 1.04 |
| Perfil 2 | | | |
| 0-15 | 2.52 | 4.20 | 1.66 |
| 15-50 | 1.96 | 3.20 | 1.63 |
| 50-80 | 2.52 | 3.70 | 1.47 |
| 80-120 | 1.96 | 3.70 | 1.89 |
| Perfil 3 | | | |
| 0-10 | 1.68 | 2.90 | 1.73 |
| 10-40 | 1.40 | 2.50 | 1.78 |
| 40-120 | 1.40 | 2.50 | 1.78 |
| 120-140 | 4.06 | 6.71 | 1.65 |
| 140-160 | 3.92 | 6.71 | 1.75 |

* Titulación del óxido de hierro libre con K₂Cr₂O₇.

** Contenido de óxido de hierro libre al usar el espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer, modelo 303.

Nota: Cuando la solución se llevó al espectrofotómetro de absorción atómica, después de filtrar y completar a volumen, el hierro se encontraba en forma divalente. Las muestras correspondientes a los horizontes del perfil 3, se llevaron al espectrofotómetro después de tratar una alícuota de la solución de hierro divalente con H₂O₂ para pasarlo a hierro trivalente y los resultados fueron los mismos que para el hierro divalente.