

MINERALOGIA DE LAS ARCILLAS DE ALGUNOS SUELOS VOLCANICOS DE CHILE (*)

Por

EDUARDO BESOAIN MONASTERIO

Se estudia la composición de las arcillas de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas holocénicas y pleistocénicas, provenientes de la región centro-sur de Chile. Los resultados obtenidos por medio de diversos análisis demuestran que en los suelos más jóvenes predominan minerales propios de estados primarios de intemperización, especialmente alofán, y en aquellos más antiguos, minerales cristalinos caoliníticos. Parece ser que el estado de intemperización progresa con la edad del suelo siguiendo la secuencia: vidrio volcánico, alofán, caolinoides, lo cual está de acuerdo a las consideraciones de Birrel K. S. y Fieldes M. sobre los suelos derivados de cenizas volcánicas de Nueva Zelanda.

Este trabajo ha sido hecho en el Instituto de Edafología y Fisiología Vegetal del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en Madrid, España, en el período en que el autor estuvo becado por parte del Instituto de Cultura Hispánica, primero, y por el patronato Alonso Herrera, posteriormente. Deseo expresar el más profundo agradecimiento al Director del Instituto de Edafología y Fisiología Vegetal, Prof. Dr. José Ma. Albareda, por la amable acogida que me dispensó, así como el apoyo que prestó para la ejecución de este trabajo; al Dr. José García Vicente, el más sincero reconocimiento por el planeamiento, dirección así como por la inestimable ayuda en la revisión y corrección de las diversas partes del trabajo; al Prof. Dr. Vicente Aleixandre Ferrandis, mis agradecimientos por sus consejos y valiosa crítica en la interpretación de las curvas termo-diferenciales; al Prof. Dr. Walter Kubiena, por sus interesantes sugerencias respecto a Clasificación y Génesis; a la Srta. Trinidad Aleixandre, por su destacada colaboración en los análisis mineralógicos de las arenas; a la Srta. María Antonia González por su ayuda en el trabajo de Biblioteca; al Dr. Juan J. Alonso Pascual, por su interpretación y ejecución de las microfotografías electrónicas y, en fin, a todas aquellas personas que colaboraron en la realización de este trabajo, mis más expresivas gracias.

(*) Estudio Preliminar por el Ingeniero Agrónomo Eduardo Besoain Monasterio. Departamento de Conservación y Administración de Recursos Agrícolas y Forestales (DECARAF), Ministerio de Agricultura, Chile.

Trabajo realizado en 1957.

INTRODUCCION

Los suelos derivados de cenizas volcánicas se encuentran ampliamente distribuidos, especialmente en aquellas zonas concurrentes al círculo de actividad volcánica circunpaciífica. Han sido descritos en Japón, país en que cubren una considerable parte del territorio (4, 6, 7, 25, 26); en Filipinas; Hawaii y otras islas del Pacífico (44); en América Central (5); Argentina (8); Indonesia (14, 21, 31); Nueva Zelanda (9, 17); en Africa, territorio de Kenya (20), etc. En Chile ocupan vastas extensiones y han sido reconocidos y clasificados por el Departamento de Conservación y Administración de Recursos Agrícolas y Forestales (DECARAF) (12) entre los paralelos 35° L. S. y 43° L. S. y desde la precordillera andina hasta su extinción en la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa, cubriendo una gran parte del Llano Central del país.

Los suelos de cenizas volcánicas recientes se conocen en Chile con el nombre de "TRUMAOS", palabra indígena que significa "polvo de color amarillo" o "amontonar polvo" (30), con lo cual se exalta el rasgo textural pulverulento y color característico de estos suelos. Aquellas formaciones más antiguas reciben el nombre de suelos "ROJOS ARCILLOSOS", en acuerdo a su color y textura dominante. Como nombres sinónimos, que podrían corresponder a los Trumaos, se encuentra el de "Ando", en Japón (25, 43, 5); "polvillos" en España, Islas Canarias (27); "Yellow brown loams", en Nueva Zelanda (42), etc.

Gran parte de los suelos volcánicos chilenos provienen de cenizas basálticas a basáltico-andesíticas, existiendo además, otros derivados de pumicitas y riolitas (37). En Japón, Aomine Sh. y Yoshinaga N. (5) restringen el origen de los suelos "Ando" a cenizas andesíticas, y en Nueva Zelanda el origen se encuentra en cenizas andesíticas, pumicíticas o riolíticas de acuerdo a trabajos de Fieldes y Swindale L. D. (18).

Las condiciones de pedogénesis de los suelos volcánicos pertenecen, en general, al orden intrazonal, ya que el tipo de suelo depende más que nada de la calidad y naturaleza del material generador que de los demás factores de formación.

De acuerdo a los trabajos de Sudo T. (39, 40); Fieldes M. y Swindale L. D. (18); Fieldes M. (17) parece ser que la formación de los minerales de arcilla en suelos de cenizas volcánicas, se produce, en general, en dos etapas; en la primera se formaría, a partir de vidrios volcánicos, predominantemente alofán, y en una etapa más avanzada se produciría por resiliatación de este, la cristalización hacia haloisita o caolinita.

Fieldes M. y Swindale L. D. (18) han propuesto una secuencia de intemperización de los silicatos primarios que modifica aquella de Jackson y colaboradores (23). Esta secuencia informa sobre la intemperización química de los vidrios básicos y ácidos, que son componentes fundamentales de las cenizas.

Estos autores ordenan los silicatos primarios en 5 grupos de acuer-

do a su resistencia a la intemperización: 1º olivino, augita, hipersteno y hornblenda; 2º vidrio volcánico básico y zeolita; 3º biotita y muscovita; 4º feldespatos y vidrios volcánicos ácidos; y 5º cuarzo. Consideran que, excepto las micas, todos los demás silicatos primarios deben, por razones estructurales, pasar previamente por un estado amorfo antes de formar silicatos laminares. Por esto, el primer paso en el curso de la intemperización es la solución o degradación hasta un estado amorfo, en el cual, las unidades estructurales de mayor tamaño que quedan no sobrepasan la dimensión molecular en una o más direcciones, siendo los primeros productos formados óxidos amorfos hidratados. Vidrios volcánicos ácidos, básicos y feldespatos se intemperizan en forma similar dando primeramente óxidos amorfos de silicio y aluminio, los cuales pueden, posteriormente recombinarse para dar alofán y, por evolución de este, caolinoides. Los miembros del grupo 1º también producen primeramente óxidos hidratados amorfos.

Fieldes M. y Swindale L. D. (18) informan que en los suelos derivados de vidrios volcánicos básicos de Nueva Zelanda, con un grado de intemperización intermedio, contienen un 60% de la arcilla formada por alofán y óxidos hidratados amorfos de silicio, aluminio y hierro, y la fracción no arcillosa, está formada por cuarzo y feldespato. Esto demuestra que la intemperización del vidrio produce en un comienzo constituyentes amorfos y que además, se intemperiza más rápidamente que los feldespatos y el cuarzo. Los subsuelos, que a menudo provienen de capas de cenizas más antiguas y que se han intemperizado por períodos más largos, contienen cantidades considerables de metahalosita o halosita hidratada. Las arcillas de los suelos Franco-pardo-granulares (Brown granular loams), con un grado de intemperización aún más avanzado, pueden tener conjuntamente con la metahalosita, montmorillonita, lo cual demuestra que con el tiempo, los silicatos laminares se pueden formar por resiliatación de los constituyentes amorfos.

En estrecha relación a los conceptos anteriores, se encuentra el punto de vista de Fieldes M. (17), quien estudiando suelos derivados de cenizas andesíticas y riolíticas en Nueva Zelanda ha encontrado que la mineralogía de las arcillas guarda relación con la edad y grado de intemperización del material parental del suelo. El autor determina que una secuencia mineralógica progresa, partiendo de los suelos más jóvenes a los más maduros, de acuerdo a las siguientes especies: alofán B (constituído por fases de sílice y alúmina amorfa) —alofán A (constituído por fases de sílice y alúmina amorfas combinadas al azar)— metahalosita y caolinita.

Sudo T. (39, 40), estudiando arcillas en suelos volcánicos de Japón, encuentra que es frecuente que se presenten asociaciones entre minerales con diverso grado de cristalización: la halosita hidratada, bien cristalizada, coexiste con la metahalosita, y las especies pobremente cristalizadas lo hacen con alofán. Sudo, estima que no se trata de variaciones

arbitrarias o factores independientes sino que esto corresponde a todo un proceso general de transformación mineral que se produce, partiendo de vidrios volcánicos hacia aquellas especies más perfectamente cristalizadas. Propone la secuencia: vidrio volcánico-alofán-haloisita hidratada-metahaloisita. Como el propio Sudo lo considera, este sería un verdadero proceso de "desvitrificación".

El trabajo de Tamura R. y Jackson M. L. (41) sobre el mecanismo de transición de la alúmina y sílice a caolín, pasando por alofán, concuerda perfectamente con el criterio de Fieldes M. (17).

En el presente trabajo estudiamos suelos derivados de cenizas recientes, holocénicas (Trumaos), y suelos derivados de cenizas más antiguas, posiblemente del pleistoceno superior (Rojos Arcillosos), con el propósito de conocer su mineralogía y observar, además, la variación mineralógica que se produce frente al incremento de la edad. Los materiales de origen son, en ambos casos, cenizas basálticas a basáltico-andesíticas, con alto contenido de vidrios; se trata, consecuentemente de suelos comparables ya que en ambos, el mecanismo de intemperización química involucra especialmente la hidratación de los vidrios volcánicos.

I. Origen de los suelos estudiados.

A la vigorosa acción volcánica Terciaria, que alcanzó su apogeo en el mioceno y plioceno y continuó durante los movimientos tectónicos cuaternarios, siguió posteriormente a su "climax", una fase de franca decadencia, reducida casi exclusivamente a explosiones de cenizas las que aún en nuestros días se manifiestan débil y esporádicamente.

El origen de los suelos se sitúa en este volcanismo cuaternario decadente. Los Trumaos son formaciones más recientes que los suelos Rojos Arcillosos y de acuerdo a trabajos de Polle E. y León L. (35) hay evidencia que los Trumaos se formaron a partir de sedimentos cineríticos holocénicos y los suelos Rojos Arcillosos lo hicieron a partir de sedimentos pleistocénicos, probablemente del pleistoceno superior.

Gran parte de los suelos Rojos Arcillosos, y un considerable volumen de los Trumaos se encuentran depositados sobre los sedimentos glaciales que constituyen la unidad fisiográfica llamada "Morrena de la Montaña" (33), extensa formación que comienza produciendo restos morrénicos a la salida de los valles cordilleranos entre Santiago y Linares, los cuales se unen más al sur hasta formar un pied-mont precordillerano, que va adquiriendo cada vez más desarrollo hacia el sur.

Es difícil calificar a qué período glacial corresponde la "Morrena de la Montaña" a causa de la confusa situación creada por fallas y movimientos tectónicos; sin embargo, hay antecedentes para creer que per-

tenece a la última época glacial y es anterior a la formación de los suelos Rojos Arcillosos.

Parece ser que los suelos Rojos Arcillosos se produjeron por evolución directa de cenizas depositadas sobre la Morrena, ya que en la mayoría de los perfiles no existe continuidad litológica entre el material morrénico y el suelo.

Sobre la mecánica de la depositación y distribución actual de los Trumaos existen varios puntos de vista: en un comienzo se creyó que estos suelos se habían producido por depositaciones subaérea y evolución posterior "in situ". Polle E. y León L. (35) siguiendo a Fuenzalida H. (19) y Brüggén L. (11), consideran que estos suelos se han formado según un proceso más complejo que incluye arrastres de tipo fluvial-eólico y descartan el supuesto de una depositación directa, entre otras razones, por el hecho que los perfiles no muestran, en general, una estratificación que señale las diversas etapas explosivas de las cenizas. Este hecho se observa, sin embargo, en las cercanías de los volcanes o en sedimentos recientes y sólo en algunos casos en sitios alejados a los focos de emisión.

Hay evidencia que tanto los suelos Rojos Arcillosos como los Trumaos han recibido en el curso de su formación, algunos aportes de cenizas frescas, las que han determinado cierto rejuvenecimiento de ellos. Este hecho se observa especialmente en algunas Series de los suelos Rojos Arcillosos.

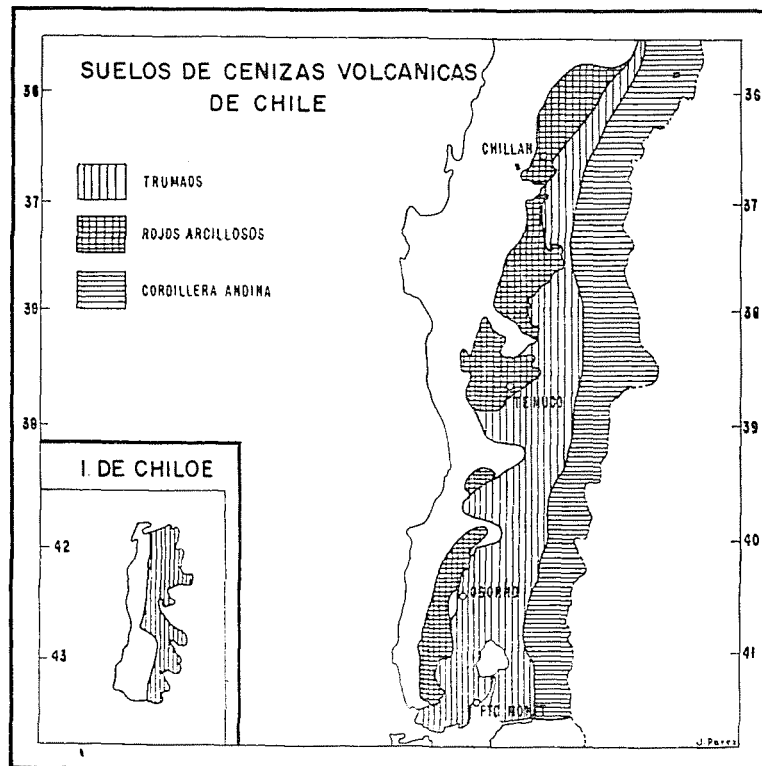


Fig. Nº 1. — Distribución de los suelos volcánicos chilenos.

II. Distribución y características de los suelos.

a) *Suelos Rojos Arcillosos*. — Se encuentran desde el paralelo 36° L. S., es decir, entre las Provincias de Talca y Llanquihue, como formación sin carácter de continuidad. En toda su extensión están limitados por los Trumaos. En la sistemática de los suelos de Chile por Grandes Grupos, realizada por Roberts R. y Díaz Vial C. (37) quedan incluidos en el grupo 10 como "lateritas pardo-rojizas".

Morfológicamente exhiben perfiles profundos, con un horizonte A de textura arcillosa, color pardo rojizo, estructura granular y materia orgánica poco abundante, pero bien humificada; un horizonte A/(B), arcilloso, de color pardo rojizo oscuro y estructura de bloques, y un horizonte (B), de color pardo rojizo oscuro, fuertemente estructurado y compactado.

Químicamente el suelo es ácido y el sub-suelo ácido a fuertemente ácido; capacidad de cambio de bases mediana a baja, en promedio 20 m.e. por 100 gr. de suelo; razones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ alrededor de 2,0.

Físicamente, exhiben valores de densidad aparente variables entre 1,2 a 1,5 y porcentajes de porosidad total cercanos al 50% con porosidad capilar uniforme a través de todo el perfil y permeabilidad restringida.

Tipológicamente, de acuerdo a la Sistemática de Kubierna W. (27) estos suelos corresponden a un Rotlehm empardecido terroso.

b) *Trumaos*. — Se encuentran desde el paralelo 35° L. S. hasta el paralelo 43° L. S. es decir, entre las Provincias de Curicó y Chiloé. Reconocimientos parciales indican que su dispersión es aun mayor (13). Los Trumaos cubren gran parte de la sedimentación fluvial y glacial del Llano Central del país y una porción considerable se encuentra depositado sobre los sedimentos de la "Morrena de la Montaña"; cubren, además, parcialmente, formaciones de los suelos Rojos Arcillosos que se extienden más hacia occidente. En la Sistemática por Grandes Grupos de los suelos de Chile (37) constituyen el grupo 12.

Morfológicamente la denominación de horizontes es confusa, aunque en general, podrían reconocerse perfiles de tipo A/(B) o A/C, dependiendo de que la evolución haya sido "in situ", caso en que se distinguen perfiles simples A/C, o que la evolución del material sedimentario haya comenzado previamente a la endogénesis en el emplazamiento definitivo, en que los perfiles son A y E/(B), de acuerdo a Mella A. (29). De texturas predominantemente franco limosas o franco arenosas finas; color pardo a pardo amarillento; estructura granular débilmente desarrolladas, consistencia suelta en seco y ligeramente plástico en húmedo.

Químicamente los Trumaos son ácidos a ligeramente ácidos, con capacidad de cambio de cationes mediana, en promedio 25 a 35 m.e. por 100 gr. de suelo, siendo bajo, en general, el contenido en cationes bivalentes. Las razones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ son cercanas a 3,0. Algunas determinaciones de la capacidad de cambio de aniónico, expresada en mgr. de fós-

foro, muestran que esta es muy alta y varía entre 1.000 a 2.500 mgr. por 100 gr. de suelo; consecuentemente el poder de fijación de fósforo es muy alto (36).

Físicamente, exhiben valores muy bajo de densidad aparente, frecuentemente inferiores a la unidad, con promedios de 0,5 a 0,6 muy altos aquellos de porosidad total, que alcanzan alrededor de 75%. Porosidad capilar uniforme a través de todo el perfil. Altos coeficientes de permeabilidad.

Tipológicamente, de acuerdo a Kubiena W. (27), son Braunlehms.

III. Factores de formación.

a) *Clima*. — (3). Las condiciones actuales se caracterizan por precipitaciones que aumentan progresivamente hacia el sur y en sentido O-E, con promedios variables entre 850 a 2.000 mm. anuales, desde el extremo norte hasta el límite sur de estos suelos. La temperatura media anual es muy constante; en Curicó y Talca, límite norte, alcanza a 13,5°C y en Llanquihue, límite sur, llega a 10,3°C. Las temperaturas medias de Enero, mes más caluroso y Julio, mes más frío, son en Curicó de 21,3°C y 7,9°C y en Llanquihue de 14,1°C y 7,4°C respectivamente.

b) *Vegetación*. — La vegetación se encuentra limitada por las disponibilidades de agua. Se establece, desde el extremo norte al límite sur, una transición que va desde el mesomorfismo hasta el higrofitismo. Predomina, como formación vegetal, el bosque en las zonas de mayor precipitación, y el parque abierto, en aquellas de precipitación inferior. La densidad de la vegetación aumenta con la altura hasta que esta se transforma en un factor limitante del desarrollo conduciendo al establecimiento de una flora achaparrada, raquítica y monótona. El bosque muestra varias estratas de vegetación y abundancia de helechos y musgos. Dominan las especies siempre verdes sobre las de hoja caduca y entre los géneros más importantes se encuentran los Nothopagus, Podocarpus, Laurelia, Drymis, Chusquea, etc.

IV. Descripción de los perfiles examinados.

Las muestras provienen de sitios incultos. La determinación del color se ha hecho según la escala de Munsell (32). La denominación de horizontes es tentativa.

1º Suelos Rojos Arcillosos.

Serie "Collipulli".

Localidad: Hacienda "El Fiscal", Collipulli, Provincia de Malleco.

Substratum: Sedimentos glaciales de la "Morrena de la Montaña".

Tipología: Rotlehm.

Horizonte A.: 0-18 cm. (Nº lab. 1000). Color pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2). Arcilloso a franco arcilloso; granular; plástico en húmedo, poco permeable y escasa materia orgánica.

Horizonte A/(B): 18-43 cm. (Nº lab. 1001). Color pardo rojizo oscuro (5YR 3/3). Arcilloso denso, estructura de bloques, plástico en húmedo, moderadamente permeable.

Horizonte (B): 43-140 cm. (Nº lab. 1002 y 1003). Color pardo oscuro (7.5YR 4/4). Similar al horizonte anterior, excepto el color.

Serie "Fresia".

Localidad: Comuna de San Pablo, Departamento y Provincia de Osorno.

Substratum: Glacial, consolidado, incluyendo rocas muy desintegradas.

Tipología: Rotlehm.

Horizonte A.: 0-30 cm. (Nº lab. 3847). Color pardo oscuro (10YR 4/3). Franco arcilloso; granular, moderada cantidad de materia orgánica, moderadamente permeable.

Horizonte A/(B): 30-60 cm. (Nº lab. 3848). Color pardo oscuro (10YR 4/3). Franco arcilloso, estructura granular, plástico en húmedo, moderadamente permeable.

2º Trumaos.

Serie "Santa Bárbara".

Localidad: Borde occidental de la "Morrena de la Montaña", Provincia de Bío-Bío.

- Substratum: Sedimentos glaciales de la "Morrena de la Montaña".
- Tipología: Braunlehm.
- Horizonte A.: 0-30 cm. (N° lab. 2774). Color pardo oscuro (10YR 3/4). Textura franco limosa, estructura granular fina, consistencia suelta. Muy abundante en materia orgánica, muy permeable.
- Horizonte A/(B): 30-150 cm. (N° lab. 2775). Color pardo (7.5YR 5/4). Franco limoso, ligeramente más densa; estructura débilmente granular; permeable, regular contenido en materia orgánica.
- Horizonte E/(B): 150-200 cm. (N° lab. 2776). Color pardo claro (7.5YR 6/5-5/8). Textura arenosa fina; sin materia orgánica; más compacto que los horizontes anteriores.

Serie "Santa Bárbara".

- Localidad: Hacienda "Corcovado", Santa Bárbara, Provincia de Bío-Bío. Tomada en el borde oriental de la "Morrena de la Montaña". Para efecto de distinción lo denominamos suelo "Corcovado".
- Substratum: Sedimentos glaciales de la "Morrena de la Montaña".
- Tipología: Braunlehm.
- Horizonte A.: 0-15 cm. (N° lab. I). Color pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2). Franco limoso; estructura débilmente granular, consistencia suelta. Muy rico en materia orgánica, permeable.
- Horizonte A/(B): 15-100 cm. (N° lab. II). Color pardo oscuro (10YR 4/3). Textura franco a franco limosa; estructura débilmente granular, abundantes raíces y raicillas.
- Horizonte E/(B): 100-150 cm. (N° lab. III). Color pardo amarillento (10YR 5/6-5/4). Franco limo arenoso; inestructurado, raíces escasas.

Serie "Osorno".

- Localidad: Hacienda "Los Robles", Departamento y Provincia de Osorno.
- Substratum: Glacial, semi-consolidado, poco permeable.
- Tipología: Braunlehm.
- Horizonte A.: 0-30 cm. (Nº lab. 3845). Color pardo oscuro (10YR 4/3). Franco arenoso fino, estructura granular, consistencia suelta, friable y poroso. Materia orgánica abundante, permeable.
- Horizonte E/(B): 30-70 cm. (Nº lab. 3846). Color pardo oscuro (10YR 4/3). Franco arenosa fina, estructura granular, abundancia de raicillas finas, permeable.

Serie "Victoria".

- Localidad: Estación Experimental "San Elías", Departamento de Victoria, Provincia de Malleco.
- Substratum: Fluvio glacial, constituyendo una tosca dura.
- Tipología: Braunlehm.
- Horizonte A.: 0-30 cm. (Nº lab. 3974). Color pardo oscuro (10YR 3/4). Franco arenoso fino; estructura granular, friable, abundancia de materia orgánica, permeable.
- Horizonte E/(B): 30-60 cm. (Nº lab. 3975). Color pardo oscuro (10YR 3/4). Franco arenoso fino, débilmente granular, poca materia orgánica, permeable.

Serie "Arrayán".

- Localidad: "Tres Esquinas", Llano Central, Provincia de Bío-Bío.
- Substratum: Arena gruesa y fragmentos rocosos moderadamente compactados de origen fluvial o fluvio-glacial.
- Tipología: Braunlehm.

Horizonte A.: 0-30 cm. (N° lab. 2767). Color pardo oscuro (10YR 3/3-3,4). Franco limoso fino, estructura granular, alto contenido en materia orgánica, muy permeable.

V. *Parte Experimental.*

En las actuales circunstancias de la investigación no es posible realizar la identificación de los minerales de la arcilla en base a un método único. Debido al tamaño de las partículas, así como también a los efectos de una composición frecuentemente heterogénea, es necesario el empleo de varias técnicas de análisis. En general, todos los métodos están sometidos a limitaciones, y no existe hasta el momento una técnica unitaria satisfactoria; ni aún difracción de rayos X restringida, prácticamente, a los componentes cristalinos.

En el presente trabajo todas las muestras han sido estudiadas mediante el análisis térmico diferencial (ATD); análisis químico y por el método térmico de pérdida de peso por deshidratación. Aquellas cuya interpretación ofrecían dudas fueron estudiadas también mediante microscopía electrónica o se determinó capacidad de cambio de bases. De todas las muestras se analizó mineralógicamente la fracciones arena.

La separación de la arcilla se realizó dispersando el suelo con solución alcalina de hidróxido de amonio. De esta dispersión, dejada el tiempo necesario, se separó la fracción arcilla por sifonación, secándose el material en baño de vapor.

La materia orgánica se eliminó de todas las muestras mediante el empleo de agua oxigenada a 20 vol. calentando en baño de vapor.

Las curvas de deshidratación se obtuvieron mediante el uso de la técnica descrita por Aleixandre V. (2).

La capacidad de cambio de cationes se determinó por el método del desplazamiento con acetato amónico, según la técnica de Zoberlein H. (46).

El análisis químico se realizó de acuerdo al método de Jacob J. (24).

Las microfotografías electrónicas se lograron suspendiendo en agua destilada o ligeramente alcalinizada con amoníaco, una pequeña cantidad de arcilla libre de materia orgánica. Se dejó sedimentar por 30 seg. aproximadamente, y por medio de una fina pipeta se tomó una gota del suspendido en la parte mediana del tubo. La gota se depositó sobre una película fina de "parlodión" y se secó con lámpara de rayos infrarojos. Para acentuar el contraste, las muestras se sombrearon evaporando oro en filamento de paladio, con un ángulo oblicuo de 1 : 3 a 1 : 4. Se usó un microscopio electrónico RCA Victor.

El análisis térmico diferencial se realizó mediante el uso de la técnica descrita por Aleixandre V. (2). Todas las curvas obtenidas se produjeron por calentamiento de la muestra entre la temperatura ambiente y 1.000°C, con un grado de calentamiento aproximado de 10°C

por minuto; se usó bloque de níquel y pares termoelectrónico de "cromel-alumel" de 0,5 mm. de diámetro.

En la mayoría de los casos no se han logrado curvas termo-diferenciales que exhiban desarrollos típicos debido, en primer lugar, a la acción modificante que tienen las mezclas de dos o más componentes, y a factores variables como son el grado de cristalinidad, grado de ordenación, tamaño de partículas, etc. No se ha intentado hacer determinaciones cuantitativas, y sólo en algunos casos que resultaban evidentes se ha hablado de mayor o menor proporción de alguna especie determinada. Los máximos, especialmente los exotérmicos en la región de alta temperatura, 800°C a 1.000°C, se producen a temperaturas más bajas que los valores típicos dados en otros trabajos para los diferentes minerales. En todo caso las conclusiones dadas por el análisis térmico son concordantes con los demás resultados.

Seguimos el criterio de MacKenzie R. (28) para designar los picos térmicos característicos de los termogramas caoliníticos —kandíticos de acuerdo a la nomenclatura actual (38)— debido a que la mayoría de las arcillas estudiadas incluyen caolinoides como componentes principales. De esta manera llamamos:

- pico A = pico endotérmico a baja temperatura debido a la pérdida de agua no constitucional.
- pico B = pico endotérmico principal debido a la expulsión del agua hidroxílica desde los retículos cristalinos; producido entre 500°C-700°C.
- pico D = pico exotérmico debido a fases de recristalización por formación de mullita o γ Al_2O_3 ; producido a alta temperatura entre 950°C-980°C.

No incluimos los otros picos descritos, C y E poco diagnósticos en mezclas complejas.

Gran parte de las muestras contienen alofán. Por la extraordinaria dificultad de seleccionar una curva de alofán tipo, nos ha parecido conveniente seguir los puntos de vista de Sudo T. citado por Mackenzie (28) y Fieldes M. (17).

Sudo T. define el alofán de acuerdo a las siguientes características.

- a) Composición química a base de alúmina, sílice y agua, con una razón sílice/alúmina alrededor de 1,0;
- b) Un termograma definido por dos picos: un fuerte y ancho pico endotérmico A, entre 100°C-200°C y otro exotérmico D entre 900°C y 1.000°C;
- c) Un diagrama de difracción de rayos X que muestra sólo algunas bandas anchas; y

- d) Apariencia al microscopio electrónico de granos extremadamente finos (0,01-0,1 μ diámetro esférico equivalente).

Fieldes M., por otra parte, encuentra que el alofán puede presentarse en tres estados que llama A, AB y B, de acuerdo a una ordenación molecular que progresa con la edad. Alofán B corresponde a una forma elemental constituida por fases discretas de sílice y alúmina amorfas. El comportamiento térmico es tal que no se detecta el pico exotérmico D, pero sí un pico doble a baja temperatura, que corresponde a las reacciones individuales dadas por el gel de sílice y la alúmina hidratada amorfa. Alofán A, compuesto por fases de sílice y alúmina amorfas combinadas al azar y con tamaño de partículas algo mayor; térmicamente exhibe un fuerte pico exotérmico D y un pico único A. El alofán AB es un promedio entre ambos.

Análisis mineralógico de las fracciones arena. — Se usó la técnica seguida en el laboratorio de Petrografía Sedimentaria (22) del Instituto de Edafología y Fisiología Vegetal. La separación de las fracciones liviana y pesada se efectuó por medio de bromoformo de densidad 2,9 y el recuento de los granos se efectuó bajo microscopio. Las cantidades relativas de los minerales se expresan mediante los coeficientes de frecuencia según la escala de Tyler y Marden.

VI. Resultados obtenidos.

Análisis mineralógico de las arenas.

a) *Suelos Rojos Arcillosos.* — En conjunto, la fracción pesada incluye minerales básicos: anfíboles, piroxenos y abundante material ferruginoso, especialmente magnetita. La fracción liviana está formada por vidrios volcánicos, feldespatos alterados y láminas escasas de micas. Dentro de estos suelos, en la Serie "Collipulli" se encuentra como muy abundante la magnetita y el piroxeno monoclinico augita; en cambio en la Serie "Fresia" disminuye notoriamente la magnetita y es abundante el piroxeno rómbico hiperstena y el anfíbol hornblenda; los vidrios volcánicos son más abundantes que en el suelo "Collipulli".

b) *Trumao.* — Las arenas de estos suelos son, mineralógicamente muy homogéneas. En la fracción pesada predominan minerales básicos de tipo anfíbol y piroxeno, que incluyen hiperstena, enstatita, augita, diópsido y hornblenda. Como mineral opaco dominante se encuentra la magnetita. La fracción liviana está constituido principalmente por vidrios volcánicos, granos de cuarzo escasos y feldespatos menos alterados que en los suelos Rojos Arcillosos. Se presentan algunos fragmentos escoriáceos con partículas minúsculas de magnetitas incluidas y granos opacos de alteración, principalmente hematíticos, siendo escasos de óxidos de aluminio. No existen diferencias marcadas entre los diversos sue-

los y la constitución mineralógica es esencialmente la misma para todos.

El análisis de las arenas demuestra que tanto en los suelos Rojos Arcillosos como en los Trumaos, el origen de los materiales generadores se encuentra en materiales básicos, de tipo basáltico y basáltico-andesítico.

Hiperstena: piroxeno rómbico que se presenta en granos de tamaño variable con formas piramidales o prismático-piramidales, menos frecuente en la forma tubular, pero relativamente abundantes los granos quebrados de formas subangulares. Color pardo-verdoso con fuerte relieve y pleocroismo que vira del pardo-rojizo o amarillento al verde. Se observan inclusiones de óxido de hierro, especialmente magnetitas; en algunas, inclusiones carbonosas opacas y cristalinas. A veces se presentan estriaciones según el eje C y en algunos granos se vé la denticulación de los bordes. La hiperstena se encuentra como dominante en casi todas las muestras. No se observa en Collipulli y Corcovado. En casi todas está asociada a la augita y hornblenda.

Augita: piroxeno monoclinico presente en todas las muestras en porcentajes bajos, sin sobrepasar el 20%. Se encuentra en forma de granos o fragmentos cristalinos de pequeño tamaño, angulosos y alterados superficialmente debido a la formación de óxido de hierro. Algunas aparecen frescas, de color verde botella o pardas, coexistiendo ambas variedades en una misma muestra, lo que atestigua una diferencia en la roca madre. Se observan también formas con bordes dentados. Los colores de interferencia son vivos.

Hornblenda: anfíbol monoclinico presente en todas las muestras, excepto en "Collipulli", "Arrayán" y los primeros horizontes de "Santa Bárbara". Se encuentra en proporciones variables entre 8-25%. Presente en forma de granos aplastados y alargados de tamaño variable, ya de color verdoso (hornblenda común) o pardusco (hornblenda basáltica) con pleocroismo débil. En una misma muestra se ven variedades frescas y otras alteradas, pero en general, no se observan indicios de cloritización. En algunos casos, como en "Arrayán" N° 2767, los colores de interferencia se encuentran cubiertos por el propio color del grano; en otros se destacan las líneas de exfoliación paralelas al prisma.

Es frecuente que la hornblenda acompañe en muchas rocas de la serie piroxénica a piroxenos y biotita, y de ahí que se explique su presencia en estos suelos que derivan de estas rocas. Es probable que la hornblenda proceda de una transformación metamórfica de los piroxenos.

Enstatita: no se encuentra en los suelos "Collipulli", "Corcovado". Esta variedad de hiperstena se presenta en forma de granos subangulares, incoloros con fuertes tintas de polarización.

Diópsido: se encuentra sólo en pequeñas cantidades en los suelos "Fresia", "Osorno" y "Victoria" N° 3975.

Epidota: se encuentra sólo como especie rara en "Fresia", "Osorno" y "Victoria" N° 3975. Se presenta como granos de color verde guisante característico y débilmente pleocroicos.

Circón: sólo en pequeñas cantidades se presenta en todos los sue-

los, excepto en "Santa Bárbara" y "Arrayán". Se muestra en forma de granos rodados ("Collipulli") que conservan su hábito prismático-piramidal, de muy pequeño tamaño y típicos en cuanto a índices de refracción y colores de interferencia.

Turmalina: exceptuando el suelo "Collipulli", "Santa Bárbara" y "Arrayán", se observa en todas las muestras en cantidades que no sobrepasan el 10%. Corresponde a la variedad ferromagnesiana: granos grandes o pequeños, de hábito prismático y coloración verde o parda intensamente pleocroicos.

Granate: sólo se ha encontrado en el segundo horizonte del suelo "Corcovado". Corresponde a la variedad almandino, incoloro o débilmente rosado, de superficie brillante.

Magnetita: abundante en todos los suelos, especialmente en el "Collipulli". Se presenta en granos de tamaño relativamente pequeños con formas octaédrica, a veces, más o menos perfectos o en forma de granos subangulares con tendencia al redondeamiento. Muchos presentan manchas rojizas originadas por alteración de la magnetita a hematita. De brillo metálico. Como inclusión se le identifica en piroxenos y anfíboles, puesto que las andesitas son abundantes en augita o hipersteno y magnetita.

Granos opacos por alteración: provenientes de hipersteno y magnetita. De colores rojizos y pardo amarillentos, subangulares o redondeados. Aquéllos que se encuentran formando costras rojizas sobre el grano primitivo se deben a la transformación del oligisto.

Vidrios volcánicos: se encuentra en abundancia en todas las muestras, especialmente en los Trumaos; el suelo "Collipulli" tiene el más bajo contenido de vidrios.

Cuarzo: escaso en los Trumaos, en cuyas muestras sólo está presente; únicamente en los suelos "Santa Bárbara" y "Arrayán" existe una mayor cantidad. En los suelos Rojos Arcillosos se observa una mayor proporción. Granos irregulares con signos de corrosión superficial debido al depósito en grietas e irregularidades de óxidos e hidróxidos de hierro. Con nódulos cruzados se van los tintes característicos, según el grosor y extinción parpadeante.

Feldespatos: escaso tanto en los Trumaos como en los Rojos Arcillosos, en estos últimos, muy alterado.

Mica: escasas, en general, en todas las muestras. En los Trumaos "Santa Bárbara" y "Arrayán" se ven láminas estriadas de muscovita, y biotita, esta última, alterada superficialmente. En los suelos Rojos Arcillosos se presentan granos de biotita, algunos de los cuales tienen inclusiones de óxidos de hierro.

Otros granos opacos: en los Trumaos se observa cierta abundancia de granos redondeados hematíticos, siendo escasos los óxidos de aluminio. También se ven, como productos de alteración, granos irregulares de coloraciones pardo amarillenta y rojiza, en los suelos Rojos Arcillosos.

TABLA Nº 1
MINERALES

Número de la muestra	Ilipervitena	Augita	Hornblenda	Epidota	Granate	Circon	Turmalina	Enstatita	Diopsido	Magnetita	Vidrio vol.	Cuarzo	Feldespatos	Micas	Opacos Alt.
1000-1003	—	C	—	—	—	R	—	—	—	D	A	C	P	P	P
3847	D	R	C	R	—	R	P	R	P	A	C	P	R	R	P
3848	D	—	C	R	—	R	R	—	R	A	C	P	R	R	P
I	—	C	A	—	—	A	C	—	—	A	A	P	—	P	P
II	—	P	D	—	R	A	C	—	—	A	A	P	—	P	P
III	—	A	D	—	—	C	C	—	—	A	A	P	—	P	P
2774	D	R	—	—	—	—	—	P	—	A	A	P	—	P	A
2775	D	—	—	—	—	—	—	P	—	C	C	C	—	R	A
3845	A	C	C	R	—	R	P	R	P	C	A	R	—	R	C
3846	D	C	P	R	—	—	P	R	P	C	A	R	—	R	C
3974	A	C	C	—	—	—	P	R	P	C	C	R	—	R	C
3975	A	P	C	R	—	P	R	—	—	C	C	R	—	R	C
2767	D	R	—	—	—	—	—	C	—	C	C	C	—	P	A

Coeficientes de frecuencia dados según escala de Tyler-Marden.

Significado de los símbolos:

D = dominante.

A = abundante.

C = común.

P = presente.

R = raro.

Análisis mineralógico de las fracciones arcilla.

Serie "Collipulli": de este perfil se han estudiado las muestras correspondientes a los horizontes A, A/(B), (B).

ANÁLISIS QUÍMICO

Muestra Nº	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	p.p.c.	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3}$
1000	32.44	32.14	10.60	1.66	0.82	—	22.58	1.71	1.41	0.21
1001	35.24	32.14	10.60	1.56	0.40	—	19.08	1.75	1.46	0.19
1002	33.00	31.73	11.18	1.44	indi.	—	23.36	1.76	1.41	0.23
1003	34.42	33.38	11.40	1.42	indi.	—	19.84	1.75	1.42	0.21

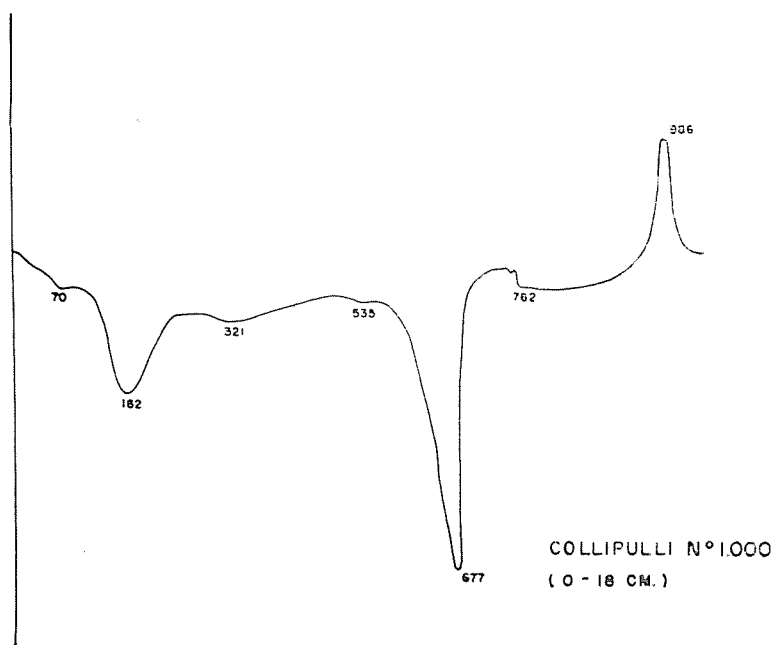


Fig. N° 2. — Curva de A. T. D. Horizonte A (N° 1000).

Horizonte A. — La curva de análisis térmico diferencial (fig. 2) presenta tres picos definidos: uno endotérmico inicial, pico A, máximo

a 162°C; un fuerte efecto endotérmico en la zona de deshidroxilación, pico B, a 677°C, y un efecto exotérmico D a 986°C. Estas reacciones, así como la composición química, con una relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ cercana a 2, señalan la existencia de minerales caoliníticos. Aunque el pico de deshidroxilación se desarrolla a una temperatura considerablemente mayor que aquella que normalmente exhibe la caolinita, es sospechosa la existencia de esta especie por la evidencia que han proporcionado las microfotografías electrónicas. En efecto, se observa en las microfotografías que la masa del material está constituida por partículas caoliníticas de tamaño pequeño o mediano y de hábito definidamente hexagonal (fig. 3).

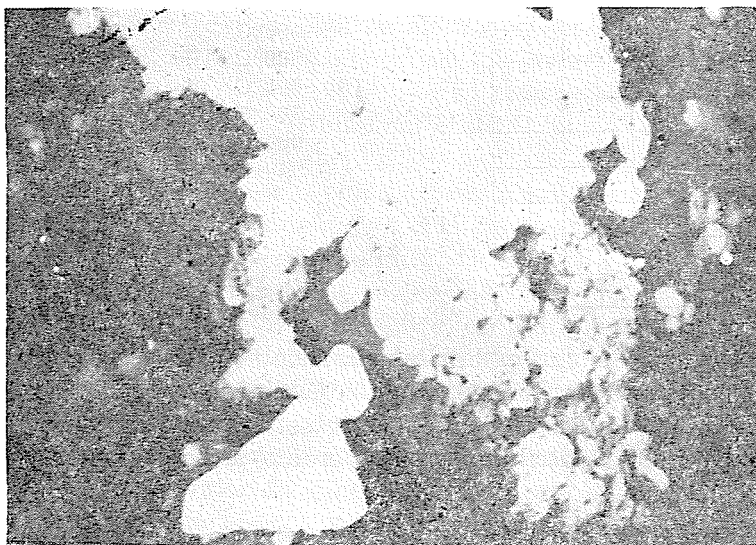
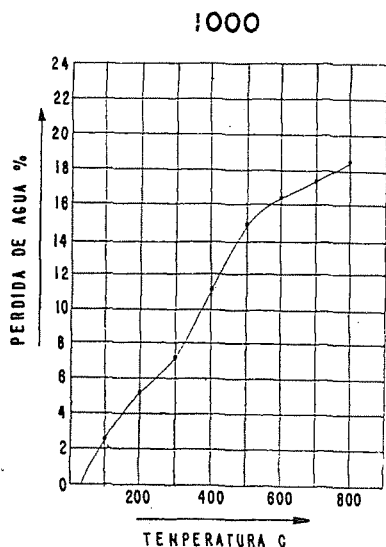


Fig. N° 3. — Suelo Collipulli. Microfotografía del horizonte A. Material caolinítico fundamental. Se observan algunas láminas escasas de micas.

No tenemos una explicación satisfactoria que dilucide tal comportamiento térmico y desconocemos algún tipo de asociación que eleve la temperatura del máximo endotérmico B característico de la caolinita. La presencia de algunas láminas micáceas escasas no tiene influencia en ello. El pico A, de desarrollo mediano, lo atribuimos a moderadas cantidades de alofán. Esta especie es frecuentemente dominante en los suelos de cenizas volcánicas jóvenes, pero en los suelos Rojos Arcillosos que, como éste, han recibido aportes de cenizas recientes en el curso de su formación, también se le encuentra aunque en pequeñas proporciones. No creemos que este efecto inicial se encuentre asociado al pico B, ni sea la causa que induzca una modificación en la temperatura de reacción de él. De acuerdo a trabajos de Egawa T., Watanabe Y. y Sato A (15) hechos con mezclas artificiales de caolinita y alofán, se observa que el pico endotérmico a 600°C sufre modificaciones en cuanto a forma y área, pero manteniéndose siempre dentro de los rangos de temperatura característicos de la caolinita.

Se observan también dos suaves efectos endotérmicos a 318°C y 535°C, el primero debido probablemente a gibbsita, γ —Al(OH)₃ y el último debido a la existencia de pequeñas cantidades de minerales micáceos, como se ha comprobado por microscopía electrónica.



% de pérdida de agua a diferentes temperaturas

100°C	2.43
200°C	5.67
300°C	7.32
400°C	11.77
500°C	15.22
600°C	16.60
700°C	17.57
800°C	18.40

Fig. Nº 4 — Curva de deshidratación. Collipulli. Horizonte A.

Observando la curva de deshidratación (fig. 4) se vé que una pérdida considerable se produce bajo 400°C y que alcanza al 11,77%. Teniendo en cuenta que los caolinoides de estructuras ordenadas pierden poca agua bajo 400°C, atribuimos esta pérdida principalmente a la exis-

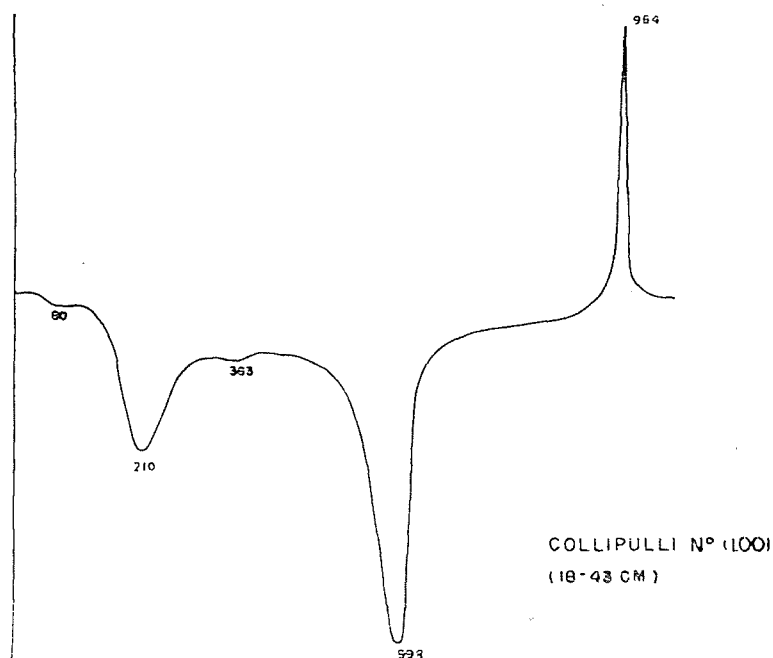


Fig. Nº 5. — Curva de análisis térmico diferencial. Collipulli, horizonte A/(B) (Nº 1001).

tencia de óxidos hidratados de hierro y aluminio y al alofán. Del alto contenido de hierro dado por análisis, no se observan reacciones en el termograma diferencial, por lo que suponemos que una parte considerable se encuentra en calidad de compuestos amorfos no identificables por A.T.D. Entre 400°C y 500°C sólo se pierde el 3,45% cifra que nos parece baja ya que en este intervalo de temperatura se produce el salto propio de los caolinoides.

La capacidad de cambio de bases alcanza a 22.68 m.e. por 100 gr., cifra algo elevada y sobre la cual debe influir el alofán y los geles de hierro. Como se sabe, los caolinoides de estructuras ordenadas tienen una capacidad de cambio restringida que varía entre 5 a 14 m.e. por 100 gr., en cambio en el alofán ésta es alrededor de 60 m.e., según Birrel K. S. y Fieldes M. (9) o 70 m.e. por 100 gr. según White A. (45).

Horizonte A/(B) (Nº 1001). — El termograma (fig. 5), se caracteriza por poner un pico A máximo a 210°C, otro B a 598°C y el pico exotérmico D a 965°C.

Los picos B y D son propios de caolinoides, estando ambos muy bien desarrollados. La simetría del pico de deshidroxilación nos hace sospechar en la existencia de caolinita. De acuerdo al trabajo de Bra-mao L. D. y colaboradores (10), es posible hacer distinciones entre algunos caolinoides, concretamente, entre caolinita y haloisita, según la simetría del pico B. El valor de simetría se obtiene al trazar una perpendicular a la línea de la base que pase por el vértice del pico, con lo cual queda éste dividido en dos ángulos desiguales; las tangentes interiores a las ramas determinan la razón de pendientes ($\text{tg}\alpha/\text{tg}\beta$), obteniéndose de ahí el valor de simetría. Los límites de esta razón para la caolinita, que produce efectos simétricos, varían entre 0,78 a 2,39, en promedio 1,55; y para la haloisita son variables entre 2,50 a 3,80, en promedio 3,11. El valor encontrado en nuestro caso es de 1,81 para el pico B, lo cual parece confirmar que la especie es caolinita. Sin embargo, este criterio para muestras como las nuestras, formadas por varios componentes, tiene un valor más restringido.

El pico A es de caracterización difícil y, como en la muestra anterior, no creemos se encuentre asociado con el pico hidroxílico. Descartamos la existencia de montmorrillonoides, que pudiesen explicarlos, de acuerdo al resultado de los diversos análisis. Probablemente se trate de una forma modificada del alofán o de un silicato de aluminio complejo con alta capacidad de absorción de agua. Es posible que corresponda a una reacción de la misma naturaleza que aquéllas que se presentan en las muestras del Trumao Corcovado II y III.

Un débil efecto endotérmico a 363°C, se debe, probablemente a lepidocrocita, γ —FeO.OH.

Las microfotografías electrónicas (fig. 6) muestran un material similar al horizonte anterior, formado por una masa de partículas caolíníficas, mejor desarrolladas y hábito exagonal definido,

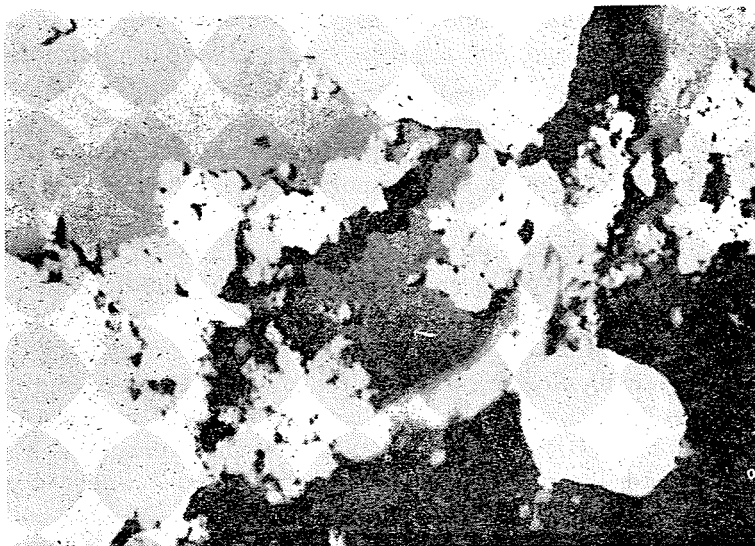


Fig. Nº 6. — Suelo Collipulli. Microfotografía del horizonte A/(B). Material caolínico.

El análisis químico y la capacidad de cambio de bases dan cifras semejantes a las obtenidas en el horizonte A. La gran cantidad de hierro dada por análisis tiene sólo una débil reacción en el análisis térmico diferencial, por lo que creemos que una gran parte del hierro se encuentra en forma amorfa.

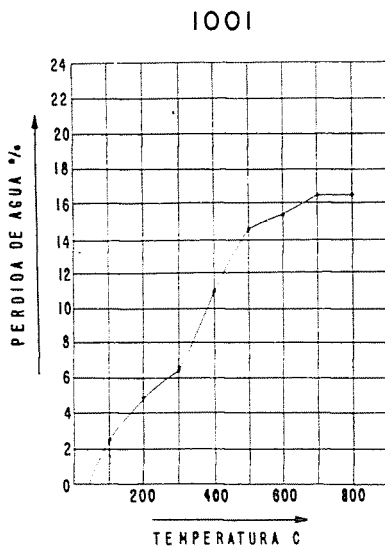


Fig. Nº 7. — Curva de deshidratación. Collipulli. Horizonte A/(B).

La curva de deshidratación (fig. 7) es similar a la del horizonte A: pérdida de agua elevada hasta 400°C, que alcanza al 11,3% y que atribuimos principalmente a los componentes amorfos. La pérdida entre

% de pérdida de agua a
diferentes temperaturas

100°C	2.72
200°C	5.08
300°C	6.54
400°C	11.36
500°C	14.74
600°C	15.65
700°C	16.13
800°C	16.15

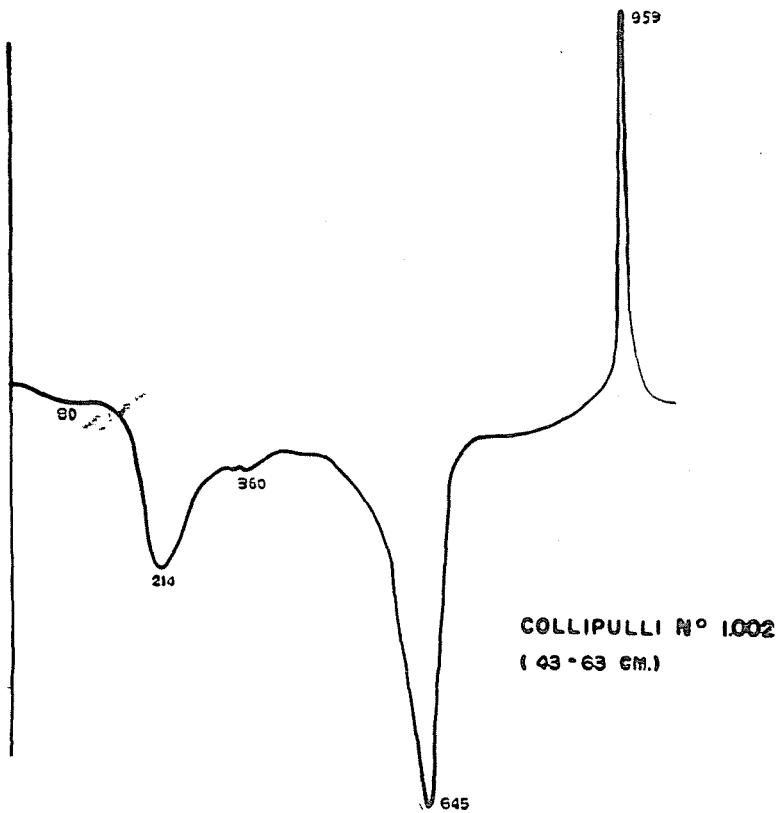


Fig. N° 8. — Curva de análisis térmico diferencial. Collipulli, horizonte (B), entre 43-63 cm. (N° 1002).

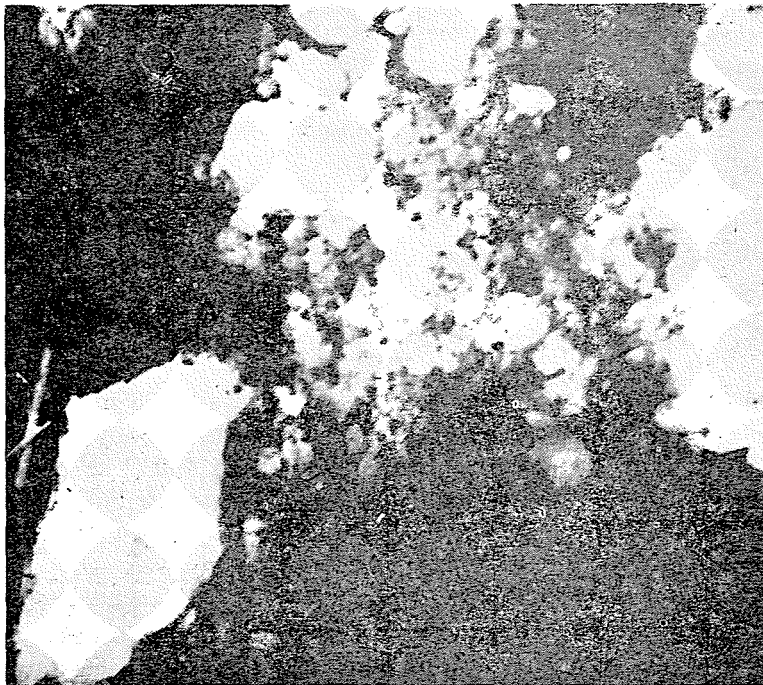


Fig. N° 9. — Suelo Collipulli. Microfotografía del horizonte (B), entre 43-63 cm. Material caolinitico. Incluye hierro goethítico.

400°C-500°C sólo alcanza al 3,38%, lo cual nos parece un valor bajo dado el carácter caolinítico de la muestra.

Horizonte (B) entre 43-63 cm. (N° 1002). — La curva de análisis térmico diferencial es semejante a la obtenida en los horizontes anteriores y los efectos térmicos son propios de minerales caoliníticos. Todos los picos se encuentran muy bien desarrollados. A pesar de la evidencia dada por las microfotografías electrónicas (fig. 9) de que el mineral dominante es caolinita, el comportamiento térmico es muy complejo (ver fig. 9). El pico B de deshidroxilación creemos que se produce por las mismas circunstancias que el pico B de la muestra N° 1000; el pico A parece estar determinado, al igual que la reacción en el horizonte A, por una forma de alofán o un silicato de aluminio complejo. El suave efecto endotérmico a 360°C es debido, probablemente a lepidocrocita o goethita, α -FeO.OH.—

El análisis químico se muestra similar a los anteriores y es compatible con una constitución esencialmente caolinítica. Del contenido de hierro, una porción considerable debe estar formada por componentes amorfos no identificados por análisis térmico diferencial.

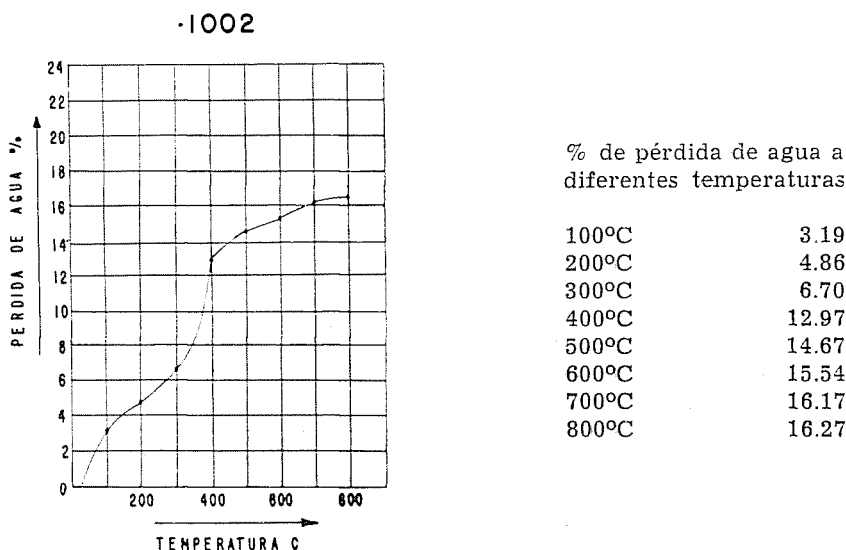


Fig. N° 10. — Curva de deshidratación. Collipulli.
Horizonte (B) entre 43-63 cm.

La capacidad de cambio de bases alcanza a 23,36 m.e. por 100 gr.

La curva de deshidratación (fig. 10) tiene un desarrollo similar a las curvas de los horizontes A y A/(B): hasta 400°C se produce una pérdida pronunciada que alcanza al 12,9% y que atribuimos especialmente a los componentes amorfos; entre 400°C y 500°C la pérdida es más bien escasa, ya que sólo alcanza al 2,64%.

Horizonte (B) entre 63-150 cm. (N° 1003). — La curva de análisis térmico diferencial es semejante a las de los horizontes anteriores, siendo los efectos térmicos propios de minerales caoliníticos: un pico A a 186°C; el pico B de deshidroxilación a 603°C, asimétrico y muy bien

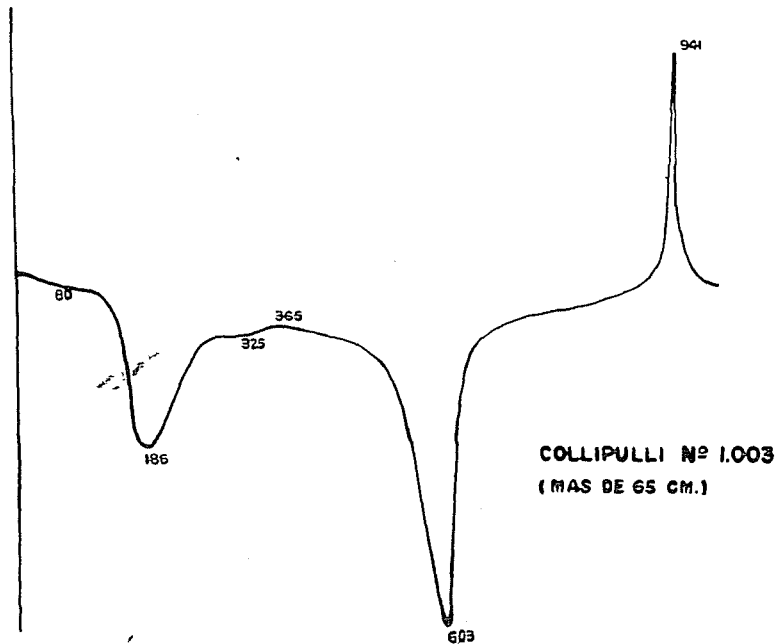
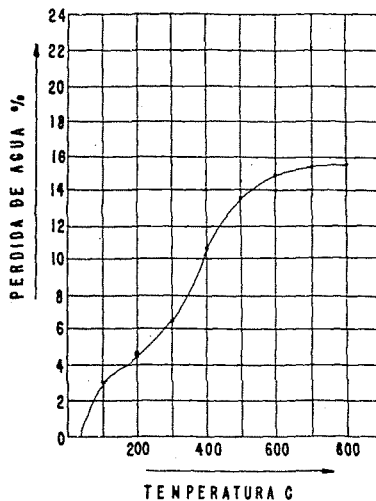


Fig. N° 11. — Curva de análisis térmico diferencial. Collipulli, horizonte (B), entre 63-150 cm. (N° 1003).

desarrollado, y el efecto exotérmico D a 941°C. Los picos B y D parecen señalar caolinita. Aplicando el criterio de Bramao y colaboradores (10) se obtiene un valor de simetría ($tga/tg\beta$) mayor que 3, es decir, dentro del rango de la haloisita. Sin embargo, como lo puntualiza Mackenzie (28), en algunas caolinitas con tamaño de partículas muy pequeñas, se obtienen valores de simetría que caen dentro del rango de la haloisita.

El pico A creemos que es debido a pequeñas proporciones de alofán y el pequeño efecto endotérmico a 325°C, a gibbsita.

1003



% de pérdida de agua a diferentes temperaturas

100°C	3.34
200°C	4.82
300°C	6.48
400°C	10.89
500°C	13.75
600°C	15.02
700°C	15.66
800°C	15.70

Fig. N° 12. — Curva de deshidratación. Collipulli. Horizonte (B) entre 63-150 cm.

La curva de deshidratación es de hábito semejante a las anteriores, aunque la pérdida total a 800°C es algo inferior (fig. 12). Hasta 400°C se ha perdido el 10,89% y sólo el 2,86% entre 400°C-500°C. Este comportamiento, como en los horizontes anteriores, creemos que está fuerte influido por geles de hierro y alofán.

Los resultados del análisis químico y capacidad de cambio de bases, esta última 22,26 m.e. por 100 gr., son similares a los obtenidos en las muestras anteriores. Una parte considerable del contenido de hierro dado por análisis debe encontrarse en calidad de geles de hierro, ya que el termograma no informa acerca de la existencia de compuestos cristalinos.

Las microfotografías electrónicas confirman que el material es esencialmente de naturaleza caolinitica, con fino tamaño de partículas, semejante al material de los horizontes anteriores (fig. 13).

Serie "Fresia". — De este perfil se estudian las muestras correspondientes a los horizontes A y A/(B).

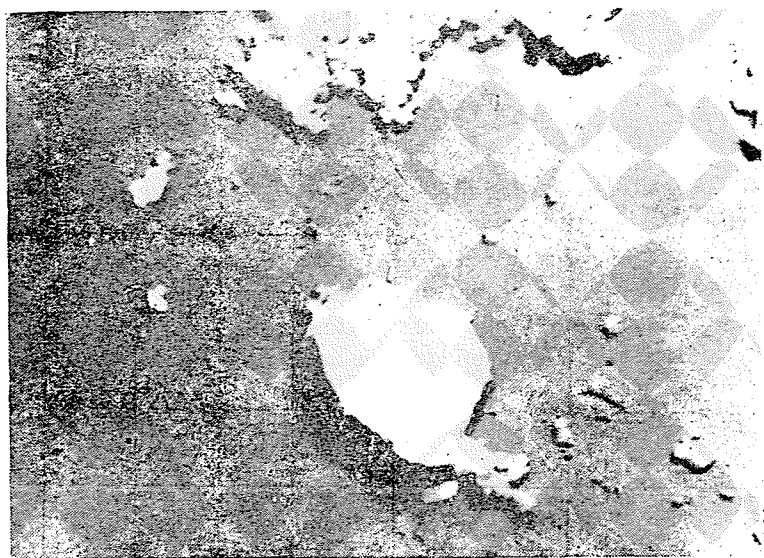


Fig. Nº 13. — Suelo Collipulli. Microfotografía del horizonte (B) entre 63-150 cm. Material caolinitico.

ANÁLISIS QUÍMICO

Muestra Nº	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	p.p.c.	SiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
								Al ₂ O ₃	R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
3847	28.12	24.09	10.60	1.66	0.54	—	34.10	1.97	1.57	0.21
3848	35.86	31.82	13.30	1.63	1.00	—	16.94	1.94	1.49	0.27

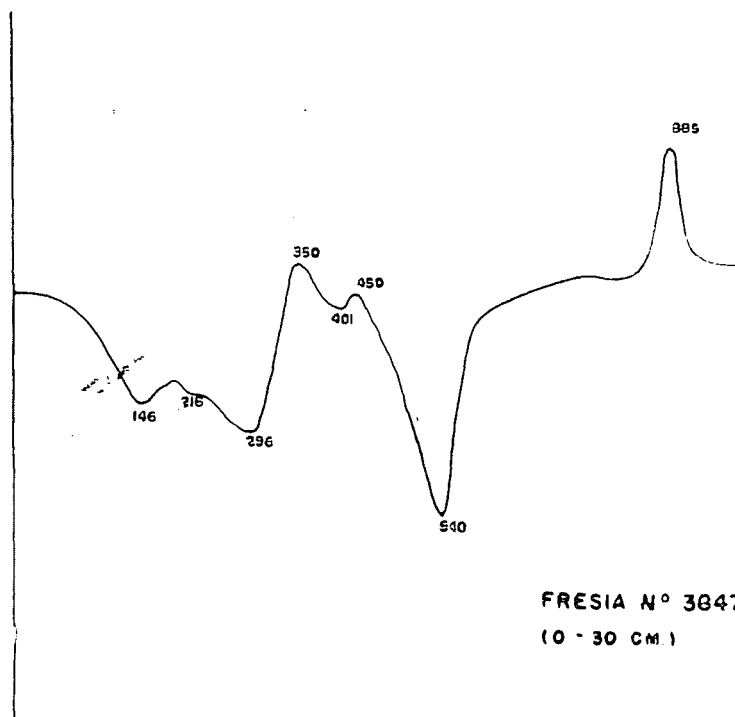


Fig. N° 14. — Curva de análisis térmico diferencial. Fresia, horizonte A (N° 3847).

Horizonte A (N° 3847). — El análisis químico, con una razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ próxima a 2, nos habla ya de minerales caoliníticos. En la curva de análisis térmico diferencial (fig. 14) se observan efectos propios de caolinoides con carácter dominante. El termograma muestra un pico inicial A ancho, máximo a 146°C ; el pico B a 540°C y el exotérmico D a 885°C . Aunque las temperaturas del pico B y el exotérmico D son algo más bajas que las señaladas frecuentemente para la haloisita hidratada, es sospechosa la presencia de esta especie si se considera la existencia de un pico A considerablemente desarrollado. No es extraño, sin embargo, que exista cierta proporción de alofán ya que generalmente la contaminación alofánica provoca un aumento en la amplitud del pico A y un decrecimiento en la temperatura y amplitud de los picos B y D, como lo sugiere Sudo T. (40). El pico B es más bien simétrico, con una razón de pendientes ($\text{tg}\alpha/\text{tg}\beta$) de 2,15 dentro del rango caolinítico, aunque, de acuerdo a MacKenzie (28), haloisitas bien cristalizadas pueden dar valores de simetría dentro del rango propuesto para las caolinitas.

Algunos picos exotérmicos en la región de 350°C a 450°C creemos que son debidos a materia orgánica retenida por la arcilla a pesar de los tratamientos con agua oxigenada. Un suave efecto endotérmico alrededor de 200°C es probable que se deba a pequeñas cantidades de óxido de aluminio amorfo, kliachita, o a un silicato de aluminio complejo. La fuerte

reacción endotérmica alrededor de 300°C creemos que es debido más bien a óxidos hidratados de hierro, de tipo limonítico, y no a gibbsita, de acuerdo a los resultados del análisis químico. Finalmente, un débil efecto endotérmico a 400°C indica, probablemente, la presencia de goethita, α -FeO.OH.

Observando la curva de deshidratación (fig. 15) se vé que una pérdida considerable se produce bajo 400°C y que llega a 14,6%. Entre 400°C-500°C se produce el salto característico de los minerales caoliníticos que alcanza a 4,18%. Las pérdidas posteriores son moderadas lle-

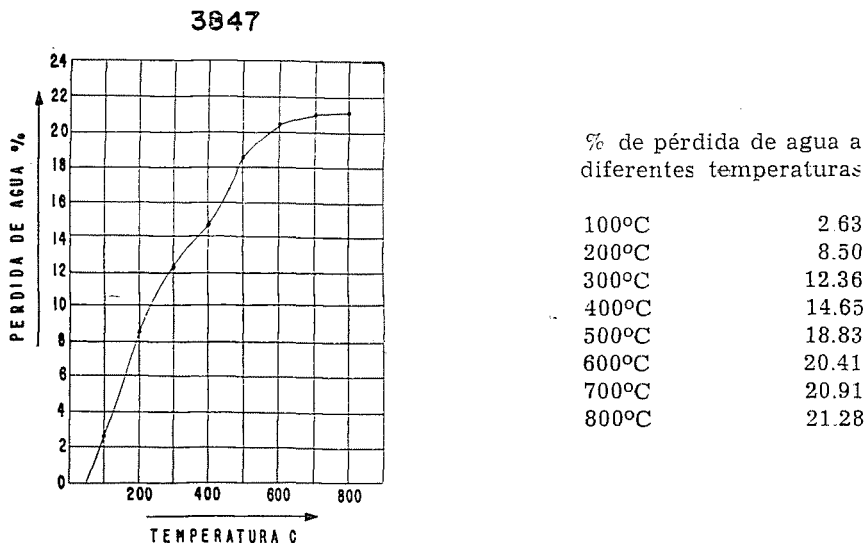


Fig. N° 15. — Curva de deshidratación. Fresia.
Horizonte A (N° 3847).

gando a 800° a un total de 21,28%. Este comportamiento de deshidratación puede ser adscrito a haloisita hidratada aunque se nota la influencia de los óxidos de hierro y componentes amorfos.

La capacidad de cambio de bases alcanza a 38,75 m.e. por 100 gr., lo cual parece confirmar la existencia de haloisita hidratada.

Horizonte A/(B) (N° 3848). — El termograma (fig. 16) muestra efectos propios de los caolinoides: un pico A, máximo a 151°C, otro B, muy bien desarrollado y agudo, a 552°C y el efecto exotérmico D a 906°C, ligeramente agudo. La presencia del pico A nos hace suponer la existencia de haloisita hidratada, aunque el pico B es simétrico, con una razón de pendientes ($\text{tg}\alpha/\text{tg}\beta$) próxima a 2. Al igual que en el horizonte anterior, es probable que se trate de haloisita bien cristalizada. La amplitud que adquiere el pico A puede deberse a una ligera contaminación con alofán.

El progreso que se observa en las temperaturas de los máximos, especialmente el exotérmico D, como también el mejor desarrollo de los

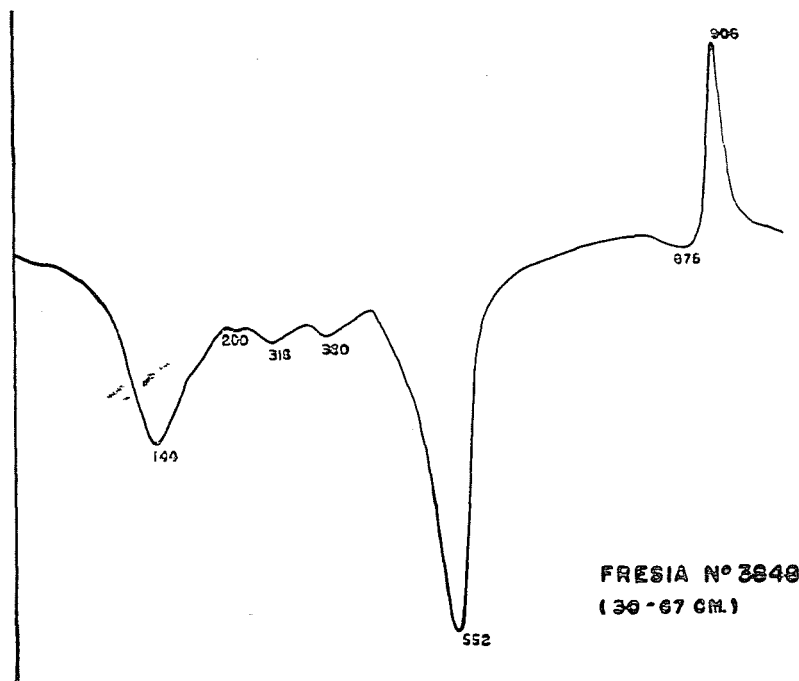


Fig. N° 16. — Curva de análisis térmico diferencial. Fresia. Horizonte A/(B). N° 3848.

picos en relación al horizonte A, parece indicar que los minerales desarrollan estructuras más ordenadas con el aumento de la profundidad del perfil.

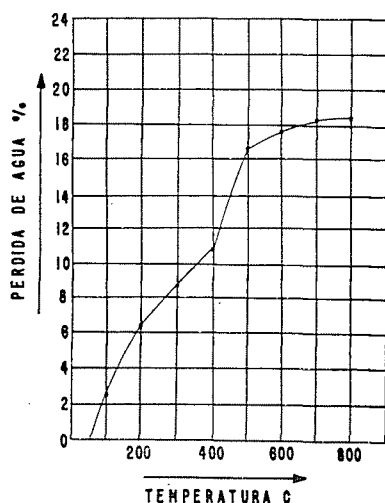
Una leve reacción endotérmica alrededor de 200°C es probable que señale óxido de aluminio hidratado amorfo, en pequeña proporción. Dos suaves reacciones endotérmicas a 318°C y 380°C indican, probablemente óxidos de hierro, lepidocrocita y goethita respectivamente. Con respecto a la reacción endotérmica en la zona de alta temperatura a 875°C, seguida inmediatamente por el pico D, no tenemos una explicación satisfactoria.

Los resultados del análisis químico concuerdan con una composición fundamental de caolinoides. Son semejantes a los obtenidos para el horizonte A y la razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ es próxima a 2. Es probable que parte del alto contenido de hierro, 16,40% en base seca, esté formando óxidos amorfos.

La capacidad de cambio de bases alcanza a 32,10 m.e. por 100 gr. lo cual parece confirmar el carácter haloisítico de la muestra.

Observando la curva de deshidratación se destaca la pérdida hasta 400°C que alcanza casi un 11%. Entre 400°C y 500°C se produce el salto característico de los caolinoides, y que alcanza al 5,88%. El comportamiento de deshidratación parece señalar que la especie dominante es haloisita hidratada.

3848



% de pérdida de agua a diferentes temperaturas

100°C	2.82
200°C	6.45
300°C	8.67
400°C	10.90
500°C	16.78
600°C	17.82
700°C	18.13
800°C	18.52

Fig. N° 17. — Curva de deshidratación. Fresia Horizonte A/(B). (N° 3848).

Serie "Santa Bárbara" (Suelo "Corcovado"). — De este perfil se estudian muestras correspondientes a los horizontes A, A/(B) y E/(B).

ANÁLISIS QUÍMICO

Muestra N°	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	p.p.c.	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3}$
I	12.10	21.59	7.20	0.81	1.00	—	58.00	0.95	0.78	0.22
II	17.14	29.00	8.00	1.15	1.46	—	43.84	1.00	0.85	0.17
III	23.00	29.16	12.00	1.31	0.88	—	34.00	1.33	1.05	0.19

Horizonte A (N° 1). — La curva de análisis térmico diferencial (fig. 18), sugiere la existencia de alofán junto a cantidades menores de otros componentes. El débil desarrollo del pico exotérmico D podría hacer pensar en una forma de alofán B o AB, de acuerdo al punto de vista de Fieldes M. (17), pero en este caso, el pico endotérmico inicial es único y no se manifiestan las reacciones individuales del gel de sílice y del óxido de aluminio hidratado amorfo.

Un fuerte efecto endotérmico a 307°C, lo atribuimos a gibbsita de acuerdo a los resultados de los análisis químicos, y la pequeña reacción a 400°C creemos que señala, probablemente, goethita. Un débil efecto endotérmico alrededor de 540°C indica, posiblemente, una pequeña pro-

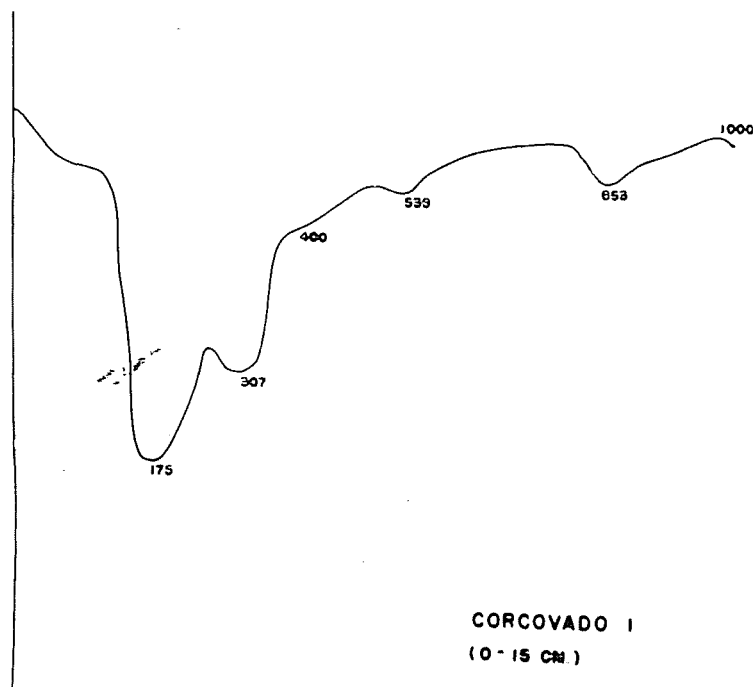


Fig. Nº 18. — Curva de análisis térmico diferencial. Corcovado. Horizonte A. Nº I.

porción de minerales caoliníticos de baja cristalinidad, como se evidencia en el microscopio electrónico. Respecto al efecto ancho y débil a 853°C, no tenemos una explicación satisfactoria.

El análisis químico indica que la muestra se encuentra constituida principalmente por sílice, alúmina y agua, con una razón sílice/alúmina baja que llega a 0,98. La elevada proporción de aluminio, (que alcanza a 50,56% base seca), confirma la fuerte reacción de gibbsita observada en el termograma. El hierro se encuentra en alta cantidad (16,86% base seca) y puesto que el análisis térmico sólo señala una débil reacción de hierro cristalino, creemos que una gran parte se encuentra en calidad de compuestos amorfos.

Algunas microfotografías de este horizonte (fig. 19) muestran formas típicas del alofán, presente ya como conjunto de partículas muy finas o bien como agregados en masas irregulares de bordes difusos y destacadas sombras. También se observa algo de hierro hemático y formas de hierro coloidal en pequeña proporción.

Observando la curva de deshidratación (fig. 20) se vé que una pérdida de agua continua se produce hasta 800°C. No se presentan inflexiones, como corresponde a las pérdidas de agua que se verifican a partir de sistemas de coloidales amorfos. Bajo 200°C se produce una intensa pérdida que alcanza al 14% y que debe corresponder al gran pico

A inicial. La mayoría del agua se ha perdido bajo 600°C alcanzando la pérdida total a 34% a 800°C. Tan alto contenido de humedad en una atmósfera de equilibrio de 50% de humedad relativa es propio del alofán.

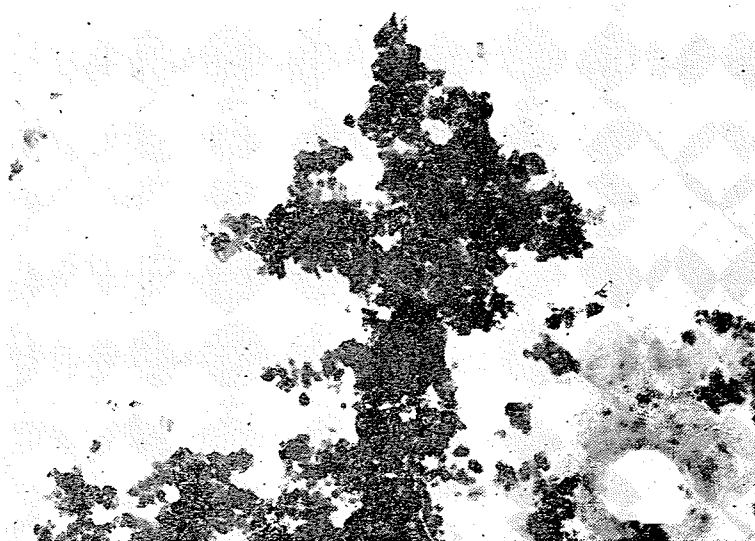
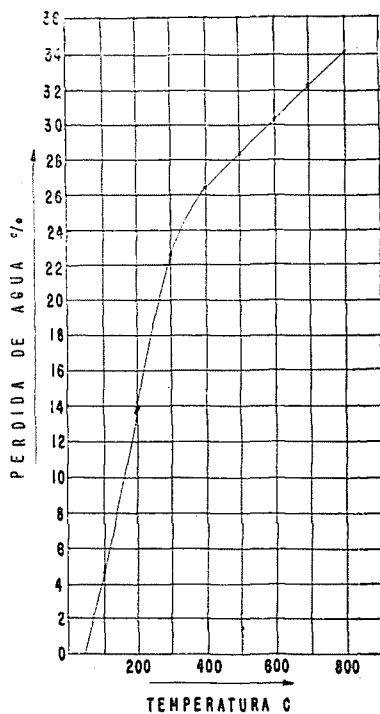


Fig. N° 19. — Suelo Corcovado. Microfotografía del horizonte A. Alofán en forma de partículas muy finas junto a algunas láminas caoliniticas (sin sombrear).



% de pérdida de agua a
diferentes temperaturas

100°C	4.67
200°C	13.98
300°C	22.59
400°C	26.31
500°C	28.22
600°C	30.19
700°C	32.37
800°C	34.07

Fig. N° 20. — Curva de deshidratación. Corcovado.
Horizonte A. (N° I).

Horizonte A/(B) (Nº II). — En la curva de análisis térmico diferencial (fig. 21) destaca el pico A muy ancho, máximo a 242°C; la reacción endotérmica a 608°C y otra exotérmica a 946°C. Los picos B y D, señalan la presencia de una moderada proporción de caolinita, como se confirma por microscopía electrónica.

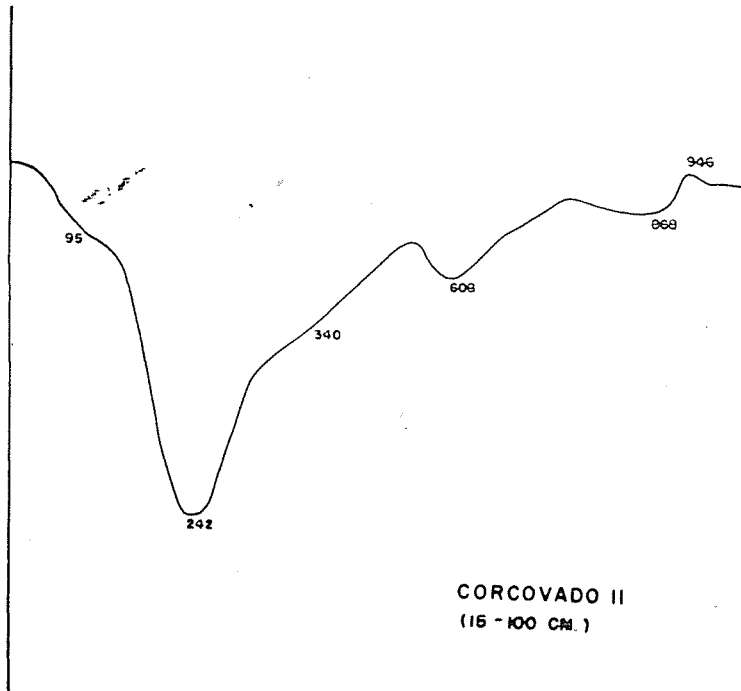


Fig. Nº 21. — Curva de análisis térmico diferencial. Corcovado. Horizonte A. Nº II.

Aunque el pico A en esta muestra posee una considerable diferencia de temperatura respecto al pico A de las muestras Nº 1001 y Nº 1003 del suelo Collipulli, creemos que guarda con estas cierta correspondencia. Albareda J. M. y colaboradores (1) en algunas arcillas silúricas, han encontrado un efecto pronunciado que se produce alrededor de 220°C-230°C, el cual lo atribuyen a un silicato de aluminio amorfo, descrito por Grim R. y Rowland R. A. Existe la posibilidad que en este caso se trate de un material de esa naturaleza, pero lo más probable es que corresponda a un alofán cuyas propiedades térmicas se han modificado por acción de otros componentes a él asociados, posiblemente óxidos de hierro y aluminio. Hay evidencia por microscopía electrónica (fig. 21) de la existencia de alofán dominante observándose también formas de hierro coloidal, lo cual parece confirmar nuestro punto de vista.

Se observa también una reacción endotérmica débil a 340°C que probablemente indica lepidocrocita. Como en algunas muestras anteriores,

sobre el efecto endotérmico a 868°C seguido inmediatamente por el exotérmico, no tenemos una explicación satisfactoria.

El análisis químico es semejante al del horizonte A e indica una composición fundamental de alúmina, sílice y agua, con una baja razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ que llega a 1,00. Gran parte del hierro debe estar en forma de geles amorfos ya que no aparece sino una débil reacción de óxidos cristalinos en la curva de análisis térmico. La composición química se aproxima bastante a la dada para el alofán.

Las microfotografías electrónicas (figs. 22 y 23) muestran al alo-



Fig. Nº 22. — Suelo Corcovado. Microfotografía electrónica del horizonte A/ (B): Grandes masas de alofán con formas caolíníticas minúsculas criptocristalinas.

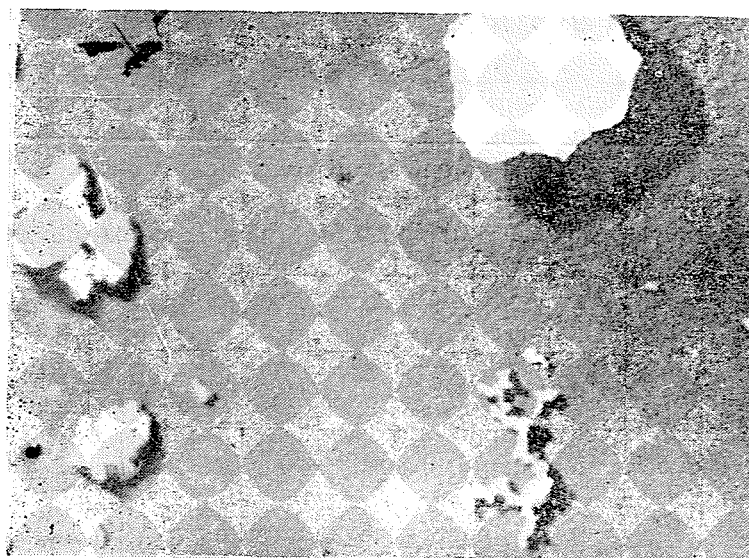
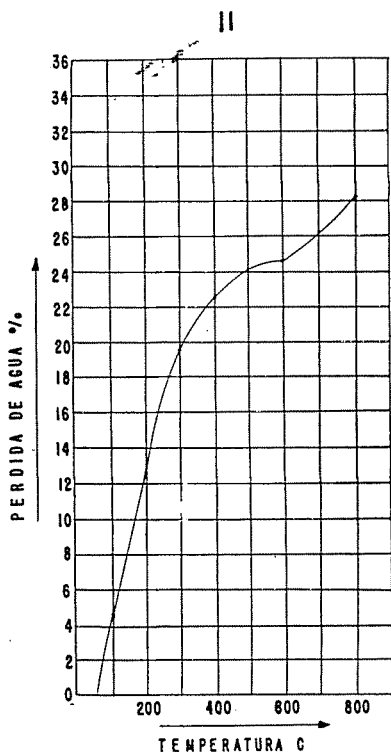


Fig. Nº 23. — Suelo Corcovado. Microfotografía electrónica del horizonte A/ (B): Alofán y formas de óxido de hierro coloidal.

fán como mineral dominante el que aparece constituyendo masas voluminosas típicas. Se confirma también la existencia de caolinita, deducida por análisis térmico diferencial.

La capacidad de cambio de bases alcanza a 26,65 m.e. por 100 gr.

La curva de deshidratación (fig. 24) es de desarrollo semejante a la del horizonte A: bajo 200°C se produce una pérdida pronunciada que alcanza al 12,8%; la mayoría del agua se pierde bajo 500°C. No hay reacciones de deshidratación apreciables siendo, en general, el comportamiento propio del alofán.



% de pérdida de agua a
diferentes temperaturas

100°C	4.89
200°C	12.80
300°C	19.83
400°C	22.58
500°C	24.03
600°C	24.59
700°C	26.32
800°C	28.30

Fig. Nº 24. — Curva de deshidratación. Corcovado.
Horizonte A/(B). Nº II.

Horizonte E/(B) (Nº III). — El termograma diferencial se caracteriza por la presencia de tres picos: una reacción endotérmica inicial, máxima a 236°C, un pico B a 587°C y el pico exotérmico D máximo a 943°C. La curva es de hábito semejante al termograma del horizonte A/(B) y, aunque las temperaturas máximas se producen a temperaturas inferiores, creemos que los componentes son esencialmente los mismos. La reacción a 236°C la explicamos de la misma manera que en el horizonte A/(B), y los picos B y D creemos que señalan cantidades de caolinita, lo que también se evidencia por microscopía electrónica.

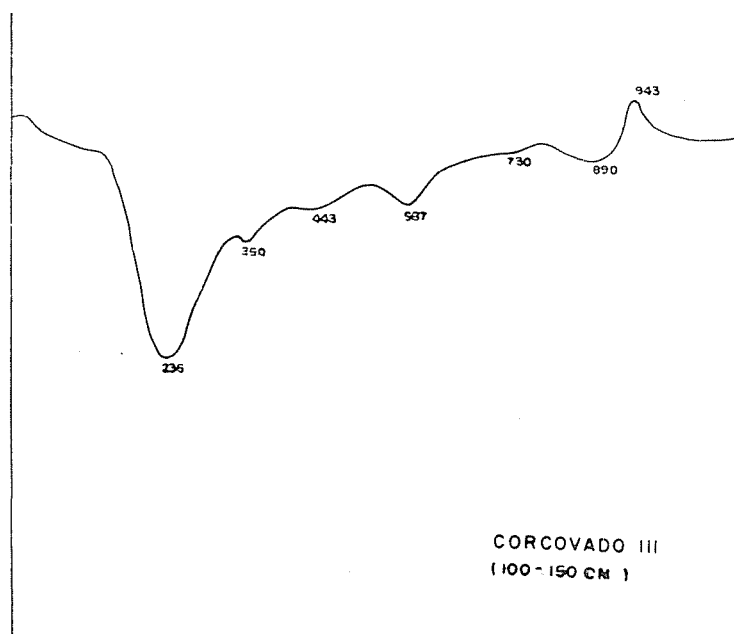


Fig. N° 25. — Curva de análisis térmico diferencial. Corcovado. Horizonte E/(B). N° III.

Se observan también, dos reacciones endotérmicas pequeñas: una a 350°C que señala, probablemente, lepidocrocita, y otra a 443°C, sobre la que no tenemos bastantes antecedentes. Se trata de una reacción que se repite con cierta frecuencia en los Trumaos (en las muestras N.ºs 2774, 2775, 3846, 3974, 2767 y 2768), en rangos de temperaturas variables de 420°C a 445°C, siendo en general, de desarrollo débil. Albareda y colaboradores (1) han encontrado, en arcillas provenientes de suelos silúricos ricos en hierro, un efecto endotérmico en el rango de 400°C a 500°C, el cual lo atribuyen a un óxido férrico hidratado. Es posible que en este caso la reacción se deba a la misma causa, ya que todas las arcillas de Trumaos son muy ricas en hierro.

Dos efectos endotérmicos débiles, uno a 730°C y otro a 890°C, este último, seguido inmediatamente por el pico exotérmico D, es muy probable que señale la existencia de montmorillonita.

El análisis químico muestra una composición fundamental de alúmina sílice y agua, con una razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 1,33 que se aproxima a la composición dada para el alofán. El contenido en hierro alcanza a la elevada cifra de 12,00% (18,08% en base seca) y creemos que, al igual que en los horizontes superiores, una proporción considerable debe encontrarse en calidad de óxidos amorfos, no detectables por análisis térmico diferencial.

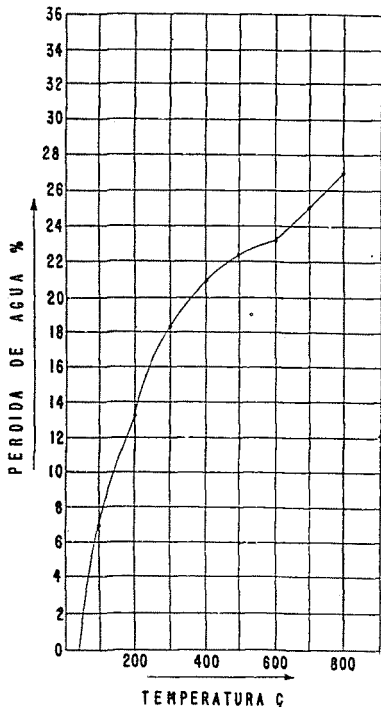
Las microfotografías electrónicas (fig. 26) evidencian al alofán como el componente principal, el cual se presenta como alofán característico. Se observan también algunas formas de hierro hematítico y coloidal, como también pequeñas cantidades de caolinita.



Fig. N° 26. — Suelo Corcovado. Microfotografía electrónica del horizonte E/(B).
Alopán característico.

Las curvas de deshidratación (fig. 27) es de hábito semejante a las anteriores: no se presentan inflecciones y hay pérdidas pronunciadas hasta 800°C que alcanzan a 27%. Bajo 500°C se ha perdido la mayoría del agua, 22,33%. El comportamiento de deshidratación es propio de materiales amorfos que no retienen el agua en asociaciones cristalinas.

III



% de pérdida de agua a
diferentes temperaturas

100°C	7.09
200°C	13.28
300°C	18.14
400°C	21.01
500°C	22.33
600°C	23.21
700°C	25.19
800°C	27.08

Fig. N° 27. — Curva de deshidratación.
Corcovado. Horizonte E/(B). N° III.

Serie "Santa Bárbara". — De este perfil estudiamos las muestras correspondientes a los horizontes A, A/(B) y E/(B) (N.ºs 2774, 2775, 2776).

ANÁLISIS QUÍMICO

Muestra Nº	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	p.p.c.	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ Al ₂ O ₃
2774	17.62	29.04	6.70	1.21	—	—	45.68	1.03	0.89	0.14
2775	34.30	36.08	7.10	1.92	—	—	20.00	1.61	1.43	0.12
2776	29.52	31.60	8.40	1.40	—	—	29.56	1.58	1.45	0.17

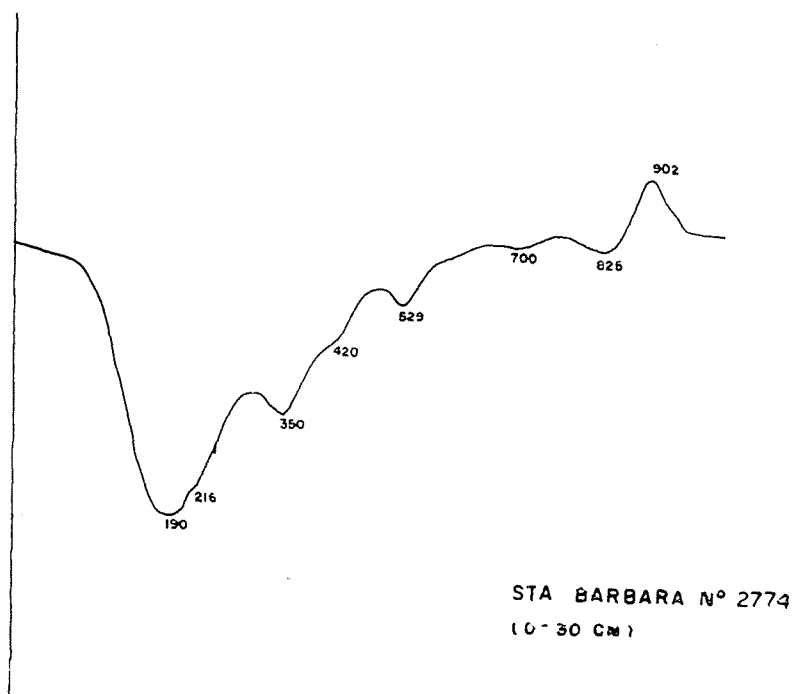


Fig. N° 28. —Curva de análisis térmico diferencial. Santa Bárbara. Horizonte A. N° 2774.

Horizonte A (N° 2774). En el termograma (fig. 28) destaca la reacción endotérmica inicial, pico A, de gran intensidad y amplio desarrollo con un máximo a 190°C y el pico D, mediano, máximo a 902°C. Estos efectos, conjuntamente con los resultados del análisis químico y curvas de deshidratación, indican que, probablemente, el mineral dominante es alofán. La pequeña reacción endotérmica en la zona de deshidroxilación, a 529°C posiblemente corresponde a un óxido de aluminio

monohidratado, tomando en cuenta el elevado porcentaje de aluminio de la muestra que dá el análisis químico (53,21% base seca).

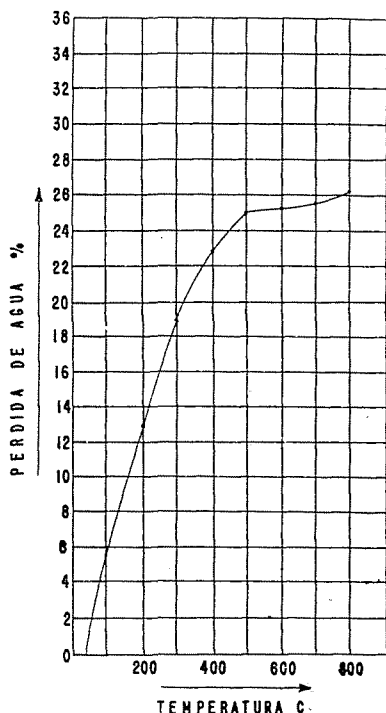
Un débil efecto endotérmico que se encuentra a 216°C creemos que puede señalar al óxido de aluminio hidratado amorfo *kliachita*. Una reacción similar, que se produce en un rango variable de 200°C-216°C, se ha encontrado también en las muestras N.^{os} 3847, 3848 y 3974. Este óxido, de cuya existencia en los suelos no había evidencia, ha sido encontrado en suelos de cenizas volcánicas de Nueva Zelanda por Fieldes M (16, 17) como un componente frecuente que se acumula en las primeras etapas de intemperización, provenientes de minerales silicatados ricos en aluminio. Térmicamente, es específica la reacción endotérmica alrededor de 200°C.

El efecto a 350°C indica un óxido de hierro, probablemente *lepidocrita*, y la pequeña reacción a 420°C creemos que es de la misma naturaleza que la encontrada en el horizonte E/(B) del suelo Corcovado.

La reacción a 700°C y aquella a 825°C, seguida esta última inmediatamente por el pico D, parecen señalar la existencia de pequeñas cantidades de *montmorillonita*.

La curva de deshidratación (fig. 29) muestra una pérdida de agua continua, sin reacciones de deshidratación ni puntos de inflexión apreciables. La mayoría del agua se pierde bajo 500°C, ocurriendo la pérdida mayor bajo 200°C que alcanza al 13%. A 800°C la pérdida total es de 26,24%. El comportamiento de deshidratación es propio del *alofán*.

2774



% de pérdida de agua a
diferentes temperaturas

100°C	5.56
200°C	13.07
300°C	19.25
400°C	22.93
500°C	25.20
600°C	25.40
700°C	25.84
800°C	26.24

Fig. N° 29. — Curva de deshidratación. Santa Bárbara. Horizonte A. N° 2774.

El análisis químico dá una composición fundamental a base de alúmina, sílice y agua, semejante a la composición dada para el alofán, siendo la razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ igual a 1,03. Es probable que parte del contenido de hierro se encuentre constituyendo óxidos amorfos.

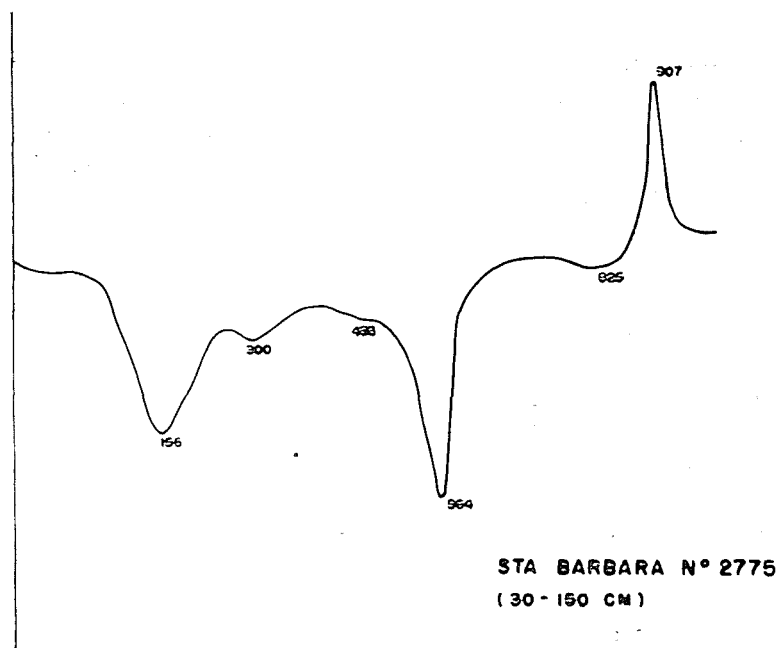


Fig. N° 30. — Curva de análisis térmico diferencial. Santa Bárbara. Horizonte A/ (B). N° 2775.

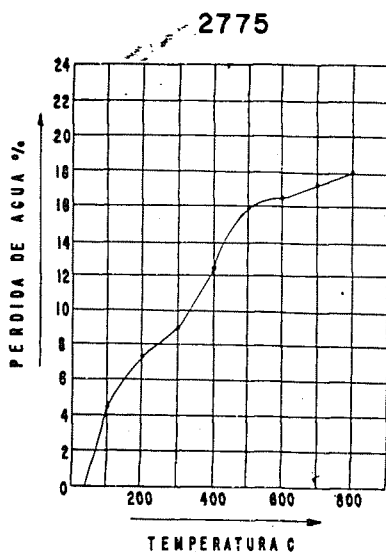
Horizonte A/(B) (N° 2775). — El termograma (fig. 30) es cualitativamente diferente al del horizonte A. Se caracteriza por la presencia de tres picos muy bien desarrollados: uno inicial A, máximo a 156°C; un pico B en la zona de deshidroxilación, máximo a 564°C y un pico D máximo a 907°C. El marcado desarrollo de los picos, especialmente el pico B, evidencia un fuerte incremento de los minerales cristalinos respecto al horizonte anterior. El carácter de la curva de caolinítico y el agudo desarrollo de los picos D y B, así como la asimetría de este último, hacen sospechar en la existencia de haloisita hidratada. La razón de pendientes del pico B ($t\alpha/t\beta$) alcanza a 2,8 es decir, dentro del rango de la haloisita. Sin embargo, dada la amplitud que alcanza el pico A, no es extraño que exista alguna contaminación con alofán.

Dos reacciones endotérmicas pequeñas a 300°C y 433°C son debidas, probablemente, a gibbsita y a un óxido férrico, de la misma forma que el encontrado en el horizonte anterior. Una cúpula endotérmica entre 300°C y 400°C parece debida a materia orgánica no destruída por acción del agua oxigenada. Sobre el efecto endotérmico a 825°C ancho, e inmediatamente antes del pico exotérmico D, no lo explicamos satisfactoriamente.

El análisis químico muestra un marcado aumento del contenido de sílice respecto al horizonte anterior (43,06% en base seca) y, consecuentemente, un aumento en la razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ que llega a 1,61.

Estos resultados parecen confirmar la existencia de minerales caoliníticos en mayor proporción que el horizonte A.

Observando la curva de deshidratación (fig. 31) se vé que esta arcilla se encuentra considerablemente menos hidratada que la muestra anterior. Hasta 200°C las pérdidas alcanzan al 7,32% y bajo 400°C sólo se ha perdido el 12,61%. Este comportamiento indica una apreciable reducción de los componentes amorfos de hierro y el alofán. Entre



% de pérdida de agua a diferentes temperaturas

100°C	4.44
200°C	7.32
300°C	9.05
400°C	12.61
500°C	16.95
600°C	16.62
700°C	17.30
800°C	18.02

Fig. N° 31. — Curva de deshidratación. Santa Bárbara, Horizonte A/(B). N° 2775.

400°C y 500° se pierde sólo el 3,34%, cifra que nos parece algo baja al considerar que en este rango de temperatura se producen las pérdidas propias de los caolinoides. La pérdida total a 800°C alcanza a 18,02%.

Serie "Osorno". — De este perfil hemos estudiado las muestras correspondientes a los horizontes A y E/(B) (N.ºs 3845 y 3846).

ANÁLISIS QUÍMICO

Muestra N°	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	p.p.c.	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3}$
3845	16.32	24.21	5.30	1.34	0.98	—	52.12	1.44	1.00	0.13
3846	9.30	18.41	1.90	0.89	0.52	—	68.34	0.85	0.80	0.06

Horizonte A (N° 3845). — En la curva de análisis térmico destaca un fuerte pico endotérmico A, de amplio desarrollo, máximo a 156°C y el pico exotérmico D máximo a 897°C. Creemos que estos efectos

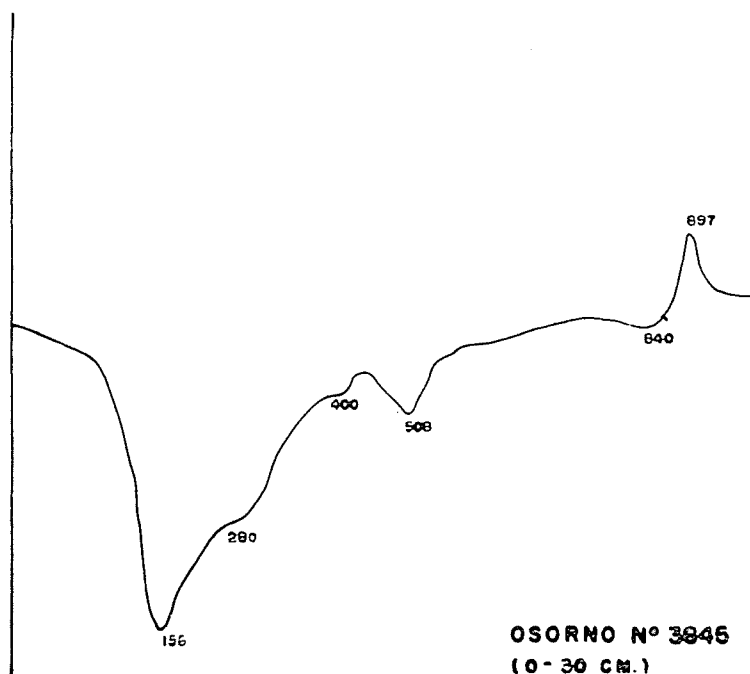


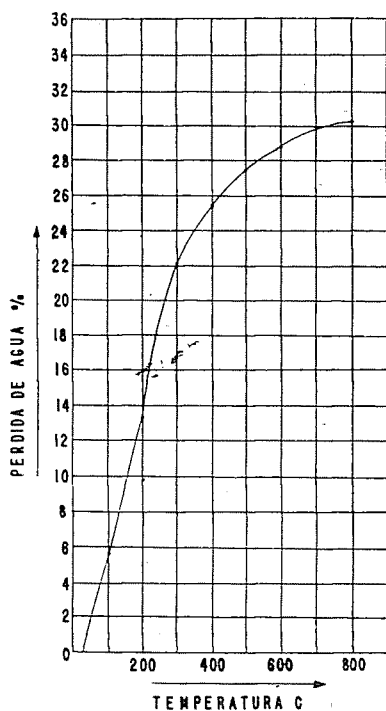
Fig. N° 32. — Curva de análisis térmico diferencial. Osorno. Horizonte A. N° 3845.

señalan la existencia dominante del alofán ya que el intenso desarrollo del pico A no guarda relación con los otros efectos que admitiesen la presencia abundante de especies con redes cristalinas. La pequeña reacción a 508°C probablemente se debe a un óxido de aluminio monohidratado, teniendo en cuenta el elevado contenido de aluminio que da el análisis químico (50,28% de Al_2O_3 en base a peso seco).

Se observan también dos efectos endotérmicos, uno a 280°C y el otro a 400°C que corresponden, probablemente a gibbsita de bajo grado de cristalinidad y a goethita, respectivamente. Una reacción exotérmica alrededor de 430°C la atribuimos a materia orgánica asociada a alofán, no destruida por el agua oxigenada. El efecto a 840°C, inmediatamente antes del pico exotérmico D, no tiene una explicación satisfactoria.

Observando la curva de deshidratación (fig. 33) se vé que una marcada pérdida se produce bajo 200°C, la que alcanza a 13,52% y que debe corresponder al gran pico A del termograma. Las pérdidas posteriores son continuas, sin inflexiones ni reacciones de deshidratación, comportamiento que es característico del alofán. La pérdida total a 800°C alcanza a 30,35%.

3845



% de pérdida de agua a
diferentes temperaturas

100°C	5.57
200°C	13.52
300°C	22.05
400°C	25.50
500°C	27.57
600°C	28.70
700°C	29.85
800°C	30.35

Fig. N° 33. — Curva de deshidratación. Osorno.
Horizonte A. N° 3845.

El análisis químico indica una composición fundamental a base de alúmina, sílice y agua, siendo la razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 1,14. La elevada proporción de aluminio está de acuerdo con la existencia de gibbsita y el óxido de aluminio monohidratado deducidos en la curva de análisis térmico diferencial. Parte del contenido de hierro es probable que se encuentre en calidad de óxidos amorfos, no detectables en el termograma.

Horizonte E/B(B) (N° 3846). — La curva de análisis térmico es semejante a la del horizonte A estableciéndose las diferencias en el orden cuantitativo. Se caracteriza por la presencia de un pico A amplio y fuertemente desarrollado, máximo a 154°C; un efecto pequeño en la zona de deshidroxilación máximo de 531°C y un pico D mediano, máximo a 875°C. A pesar de la reducción en la temperatura del máximo D, de acuerdo a los resultados del análisis químico y curvas de deshidratación, interpretamos el termograma en la misma forma que el termograma anterior.

El porcentaje de aluminio alcanza la elevada cifra de 18,41% (59,34% de Al_2O_3 en base a peso seco); consecuentemente, la razón SiO_2 alcanza el valor tan bajo de 0,85. Creemos que esta arcilla al igual que aquella del horizonte A, está constituida esencialmente por alofán. El exceso de aluminio, dado por análisis, es posible que determine la aparición del pico endotérmico a 531°C debido, posiblemente al óxido de aluminio monohidratado bohemita.

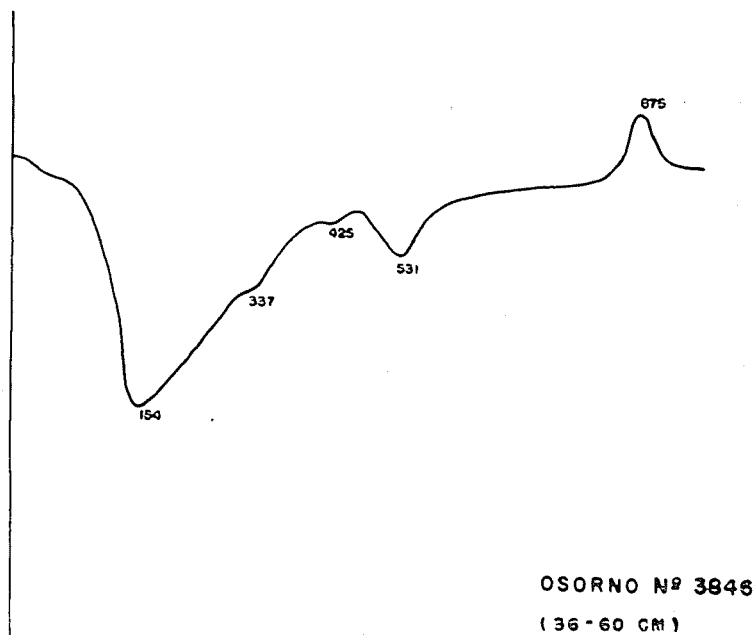
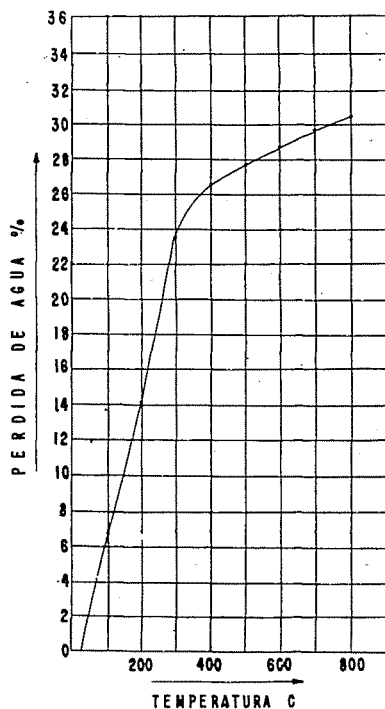


Fig. Nº 34. — Curva de análisis térmico diferencial. Osorno. Horizonte E/(B). Nº 3846.

Se observan también dos efectos endotérmicos débiles a 337°C y a 425°C. El primero indica un óxido de hierro, probablemente lepidocrocita, y el segundo un óxido férrico de la misma forma que el encontrado en el horizonte A de Santa Bárbara.

3846



% de pérdida de agua a
diferentes temperaturas

100°C	6.88
200°C	14.02
300°C	23.66
400°C	26.60
500°C	27.92
600°C	28.88
700°C	29.68
800°C	30.39

Fig. Nº 35. — Curva de deshidratación. Osorno. Horizonte E/(B). Nº 3846.

La curva de deshidratación es enteramente semejante a la del horizonte anterior, lo cual confirma la identidad mineralógica de ambos horizontes. No se aprecian reacciones de deshidratación, verificándose las pérdidas en una forma continua. La pérdida total a 800°C alcanza a 30,39%. Esta elevada pérdida a 50% de humedad relativa, es característica del alofán.

Serie "Victoria". — De este perfil se han estudiado las muestras correspondientes a los horizontes A y E/(B) (N.ºs 3974 y 3975).

ANÁLISIS QUÍMICO

Muestra Nº	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	p.p.c.	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3}$
3974	26.56	26.80	11.20	1.66	0.58	ind.	32.98	1.68	1.32	0.26
3975	33.32	29.62	13.20	2.08	0.62	ind.	20.66	1.91	1.48	0.28

Horizonte A (Nº 3974). — En la curva de análisis térmico diferencial (fig. 36), se observan tres picos definidos: uno A máximo a 144°C, un pico B, máximo a 566°C, fuerte y agudo y un pico exotérmico

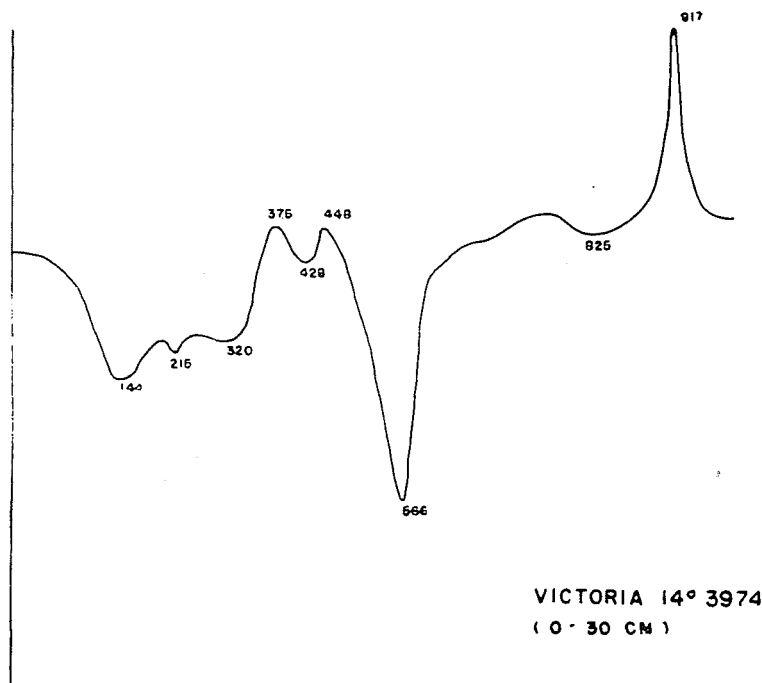


Fig. Nº 36. — Curva de análisis térmico diferencial. Victoria. Horizonte A. Nº 3974.

D, agudo y bien desarrollado a 917°C. El carácter de la curva es caolínico y creemos, considerando el desarrollo característico del pico B y la presencia destacada de un pico A, que la especie dominante puede ser haloisita hidratada. En efecto, el pico B es asimétrico y el valor de la razón ($t_{ga}/t_{g\beta}$) es de 2,8 dentro del rango de la haloisita. No es improbable, dada la amplitud del pico A, que exista cierta contaminación con alofán. Como lo hemos comprobado en otros termogramas de estos suelos, el pico D presenta el máximo a temperaturas inferiores que aquellas que frecuentemente exhiben los caolínoides.

Se observan también dos reacciones endotérmicas a 215°C y 320°C. La primera es posible que corresponda al óxido de aluminio hidratado amorfo, *kliachita*; la segunda, más pronunciada, creemos que puede deberse a *gibbsita*. Un efecto endotérmico mediano a 428°C es probable que indique un óxido férrico, semejante a la reacción a 420°C encontrada en la muestra 2774. Entre 350°C-500°C se observan dos reacciones exotérmicas, las que posiblemente se encuentran determinadas por materia orgánica unida íntimamente a la parte inorgánica, y resistente a la acción del agua oxigenada. Finalmente, en la zona de alta temperatura, se encuentra una reacción endotérmica a 825°C ancha, seguida inmediatamente por el pico D, sobre la que no tenemos una explicación satisfactoria.

Observando la curva de deshidratación (fig. 37) se vé que la pérdida bajo 400°C alcanza al 14,72%; hasta 200°C se ha perdido el 8,43%

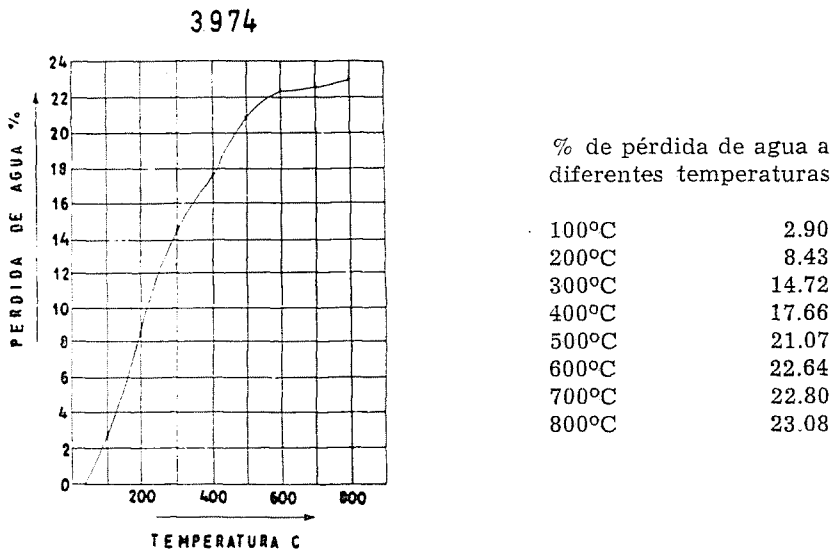


Fig. N° 37. — Curva de deshidratación. Victoria
Horizonte A. N° 3974.

y entre 400°C y 500°C, zona de la pérdida hidroxílica, sólo se elimina un 3,41% de agua. Las pérdidas posteriores son moderadas llegando a un total de 23,08% a 800°C. El comportamiento de deshidratación confirma

nuestra suposición que la especie dominante puede ser haloisita hidratada incluyendo, por el ritmo de pérdidas bajo 400°C, algo de alofán y óxidos amorfos.

La capacidad de cambio de bases alcanza un valor de 34,12 m.e. por 100 gr., lo que parece confirmar la composición que hemos atribuído.

El análisis químico indica que esta arcilla se encuentra constituida principalmente por sílice, alúmina y agua alcanzando la razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ el valor de 1,7, lo cual confirma el carácter caolinítico de la muestra. Parte del alto contenido de hierro dado por análisis (16,77% en base a peso seco) creemos que se encuentra en forma de geles amorfos no detectables por análisis térmico diferencial. Del contenido en magnesio el análisis sólo señala indicios, por lo que suponemos que, de existir montmorillonoides, éstos deben encontrarse en proporción muy reducida.

Horizonte E/(B) (Nº 3975). — La muestra es muy semejante a la del horizonte A, estableciéndose entre ellas diferencias de orden principalmente cuantitativo. De acuerdo a los resultados del análisis térmico diferencial (fig. 38) y análisis químico, creemos que la proporción de especies caoliníticas debe ser mayor.

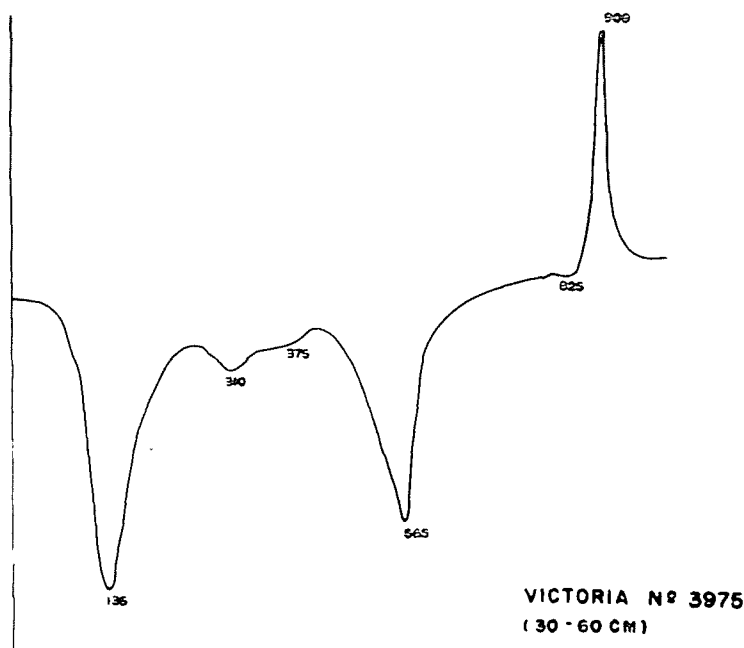


Fig. Nº 38. — Curva de análisis térmico diferencial. Victoria. Horizonte E/(B). Nº 3975.

El termograma muestra reacciones más o menos similares: un pico A máximo a 156°C; un pico B máximo a 565°C y el pico exotérmico D máximo a 909°C agudo. Estos caracteres unidos a la asimetría del pico B, con una razón de tangentes ($\text{tg}\alpha/\text{tg}\beta$) igual a 3, parecen indicar la existencia de haloisita hidratada con carácter dominante, aunque el pico D se

desarrolla a una temperatura inferior a la señalada frecuentemente para esta especie.

Se presentan también dos pequeños efectos endotérmicos a 320°C y 375°C. El primero creemos que puede corresponder a gibbsita; el segundo, de suave desarrollo, señala probablemente, un óxido de hierro lepidocrosita o goethita. Un efecto endotérmico débil en la zona de alta temperatura, inmediatamente antes del exotérmico D, no se explica satisfactoriamente.

El análisis químico, al igual que el horizonte A, señala indicios de magnesio. Se observa un ligero aumento en el contenido de sílice y una disminución de la alúmina; la razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ aumenta alcanzando la cifra de 1,91. Los demás componentes se mantienen dentro de las mismas proporciones. Los resultados del análisis concuerdan con la composición que hemos atribuido. Del porcentaje de hierro dado por análisis (16,74% de Fe_2O_3 en base a peso seco) suponemos que una porción considerable se encuentra en forma de óxidos amorfos.

La capacidad de cambio de cationes alcanza el valor de 28,49 m.e. por 100 gr., lo que confirma los resultados precedentes.

La curva de deshidratación (fig. 39) indica que esta arcilla se encuentra considerablemente menos hidratada que la muestra del horizonte anterior. Hasta 400°C se pierde el 11,48% y entre 400°C a 500°C se produce el salto propio de los caolinoides, el que alcanza a 4,43%. La pérdida total a 800°C llega a 17,76%. El comportamiento de deshidratación confirma los resultados anteriores.

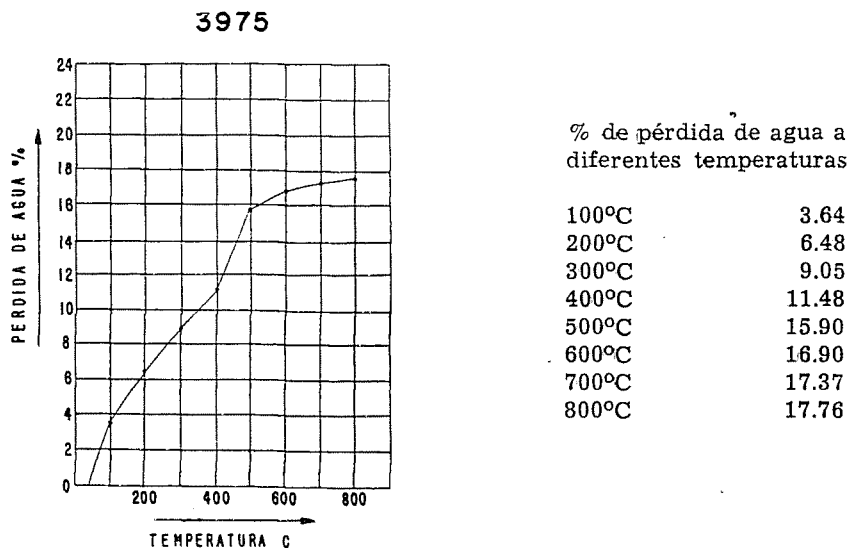


Fig. Nº 39. — Curva de deshidratación. Victoria.
Horizonte E/(B). Nº 3975.

Serie "Arrayán". — De este perfil se ha estudiado la muestra correspondiente al horizonte A.

ANÁLISIS QUÍMICO

Muestra Nº	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	p.p.c.	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ Al ₂ O ₃
2767	26.82	30.59	8.40	1.56	—	—	33.06	1.49	1.35	0.75

Horizonte A (Nº 2767). — La curva de análisis térmico diferencial (fig. 40) está caracterizada por tres reacciones definidas: un fuerte pico inicial A, máximo a 153°C; un pico B, en la zona de pérdida de agua higroscópica, máximo a 582°C, y un agudo pico exotérmico D después de 900°C. Estos efectos son propios de minerales caolíníticos.

La presencia de un pico A destacado, así como la asimetría del pico B, con una razón de pendientes ($\text{tg}\alpha/\text{tg}\beta$) de 2,7 nos hacen sospechar en la existencia de haloisita hidratada. Sin embargo, dado la amplitud del pico A, los resultados del análisis químico y curva de deshidratación, no es improbable la presencia de pequeñas cantidades de alofán.

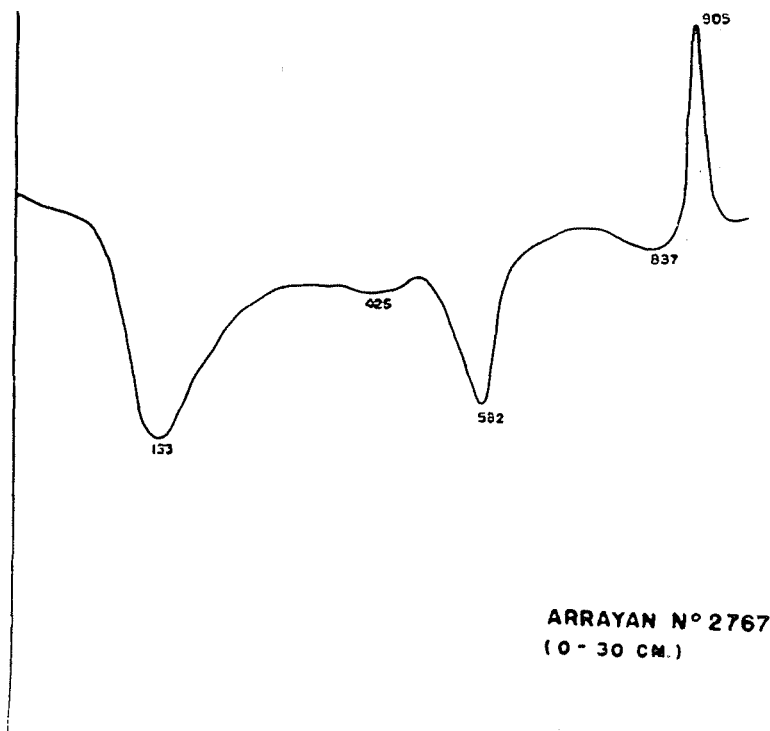


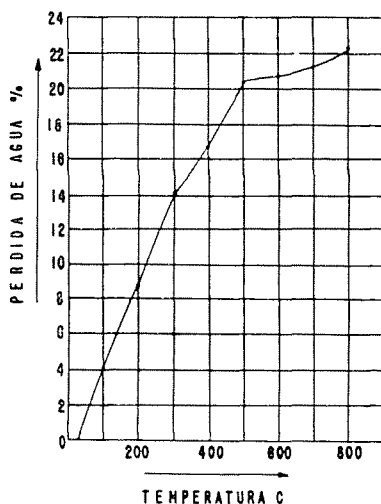
Fig. Nº 40. — Curva de análisis térmico diferencial. Arrayán. Horizonte A. Nº 2767.

Se observa también una reacción endotérmica, ancha a 425°C que probablemente es similar a la reacción observada a 420°C en la muestra N° 2774. Respecto al efecto endotérmico situado a 837°C y seguido inmediatamente por la reacción exotérmica D, no tenemos una explicación satisfactoria.

El análisis químico, con una razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 1,49 concuerda con los resultados precedentes que suponen la presencia de haloisita hidratada acompañada de pequeñas cantidades de alofán. Parte del hierro (12,46% de Fe_2O_3 en base a peso seco) posiblemente se encuentran en calidad de óxidos amorfos, no detectables por análisis térmico diferencial.

Observando la curva de deshidratación (fig. 41) destaca la pérdida que se verifica bajo 400°C y que alcanza a 16,57%. Bajo 200°C se ha perdido casi un 9%, y entre 400°C a 500°C, se elimina un 4,15%. Posteriormente, las pérdidas son menores llegándose a un total de 22,16% a 800°C. El comportamiento de deshidratación concuerda con los resultados anteriores.

2767



% de pérdida de agua a
diferentes temperaturas

100°C	4.05
200°C	8.98
300°C	14.02
400°C	16.57
500°C	20.72
600°C	20.81
700°C	21.29
800°C	22.16

Fig. N° 41. — Curva de deshidratación. Arrayán.
Horizonte A. N° 2767.

VII. Conclusiones.

De acuerdo a los resultados experimentales, en los suelos Rojos Arcillosos hay predominio de minerales cristalinos pertenecientes al grupo de los caolinoides, especialmente caolinita y haloisita hidratada, asociados en diversa proporción a cantidades menores de óxidos cristalinos de hierro y aluminio, alofán (una forma térmicamente anormal), y otros componentes accesorios.

En la mayoría de los Trumaos predominan, en cambio, el alofán y en algunos, haloisita hidratada, conjuntamente con óxidos cristalinos y amorfos de aluminio y hierro y otros componentes en proporción inferior.

Estas diferencias se manifiestan también en el orden químico: las arcillas de los suelos Rojos Arcillosos son más ricas en sílice y la razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ alcanza en promedio a 1,8; mientras que en los Trumaos, mucho más ricos en aluminio, las razones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ toman valores del orden de 1,3.

La constitución mineralógica encontrada era prevista de acuerdo a los materiales parentales y edad de los suelos.

Los suelos estudiados son mineralógicamente semejantes a los suelos volcánicos de Nueva Zelanda (Yellow brown loams), así como a algunos tipos de Japón ("kanto-loam", "pumice-loam", etc.), cuando tienen una edad comparable y se han desarrollado en condiciones de medio y ambiente similar.

Los conceptos de intemperización química de los silicatos de Fieldes M. y Swindale L. D. así como la variación mineralógica como función del tiempo, de acuerdo a Fieldes M. podrían ser aplicados en general, a los suelos volcánicos chilenos.

El mecanismo de intemperización química propuesto por Fieldes M. y Swindale L. D. parece ser una característica que cumplen, al menos las primeras etapas. Todos los materiales provenientes de cenizas ricas en vidrios volcánicos, variando únicamente la velocidad con que se realiza el proceso, de acuerdo a la calidad de los materiales y condiciones del medio ambiente.

Como regla general, en estos suelos se observa que el alofán se forma en una primera etapa (Trumaos) y posteriormente, se evidencia la tendencia hacia la formación de caolinita, como miembro final. (Suelos Rojos Arcillosos).

Debido a que en el curso de la formación de estos suelos se han continuado depositando cenizas, algunas recientes, es por lo que se encuentran mezclas de minerales correspondientes a diversas etapas de intemperización. Esto se observa más claramente en los suelos Rojos Arcillosos, en los que las cenizas han inducido un claro rejuvenecimiento que se manifiesta por la presencia de especies propias de etapas de intemperización primaria, como alofán (en el suelo Collipulli) y óxido de aluminio hidratado amorfo (en suelo Fresia). Esta situación dificulta el poder establecer conceptos más definidos de evolución y génesis.

VIII. *Resumen.*

1º) Se ha estudiado la composición mineralógica de las arcillas de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile.

2º) Las arcillas, extraídas según la técnica internacional, fueron estudiadas mediante análisis térmico diferencial, análisis químico, curvas de deshidratación, y algunas, por microscopía electrónica y cambio de bases.

3º) La razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de la arcilla es variable: en los suelos Rojos Arcillosos tiene en promedio un valor de 1,8 mientras que en los Trumaos, el valor medio es de 1,3.

4º) De acuerdo a los métodos empleados se ha encontrado que en los suelos Rojos Arcillosos predominan minerales cristalinos caolíníticos, asociados en diversos grados a óxidos cristalinos de hierro y aluminio y a pequeñas proporciones de alofán. En la mayoría de los Trumaos el alofán es el mineral dominante, en algunos, la haloisita hidratada, asociados en mayor o menor proporción a óxidos amorfos y cristalinos de aluminio y hierro.

5º) Se ha hecho el análisis mineralógico de la fracción arena por la técnica internacional (separación en bromoformo con densidad 2,9). Se evidencia que el origen de los suelos son cenizas basálticas a basáltico-andesíticas con alto contenido de vidrios.

6º) Se establece una evidente genética entre los minerales de las arcillas, el material parental y la edad de los suelos.

7º) El estado de intemperización avanza con la edad. La secuencia mineralógica que parece cumplirse es: vidrios volcánicos, alofán, haloisita, caolinita.

8º) La existencia de alofán en los suelos Rojos Arcillosos, propio de estados primarios de intemperización, se explica admitiendo que cenizas recientes han contaminado estos suelos induciendo un claro rejuvenecimiento de ellos.

TABLA Nº 2

CARACTERISTICAS TERMICAS DE LAS ARCILLAS

Suelos	Nº de la muestra	Pico A (máximo)	Pico B (máximo)	Pico D (máximo)	Otras reacciones térmicas
		°C	°C	°C	°C
Collipulli	1000	162 m-a	677 f-g	986 m-g	(-) 321 d (*) (-) 535 dd (-) 762 d
	1001	210 m	598 f-g	954 gg	(-) 363 d
	1002	214 m	645 f-g	959 gg	(-) 360 d
	1003	186 m	603 f-g	941 gg	(-) 325 dd (+) 365 dd (**)
Fresia	3847	146 m-a	540 f	885 m	(-) 295 f (+) 350 d (-) 216 dd (+) 450 d (-) 401 d
	3848	144 m-a	552 f-g	906 m-g	(-) 200 d (-) 380 d (-) 318 d (-) 875 d
Corcovado	I	175 f-a	539 d	1000 dd	(-) 307 f (-) 853 m-a (-) 400 dd
	II	242 f-a	608 m-d	946 m-d	(-) 340 dd (-) 868 d
	III	236 f-a	587 m-d	943 m-a	(-) 350 d (-) 730 d (-) 443 dd (-) 890 dd
Santa Bárbara	2774	190 f-a	529 d	902 m-d	(-) 216 dd (-) 825 d (-) 350 d (-) 700 d (-) 420 dd
	2775	156 m-a	564 f	907 f-g	(-) 300 m-d (-) 825 d-a (-) 433 dd
Osorno	3845	156 f-a	508 m-d	897 m-d	(-) 280 d (-) 840 dd (-) 400 d
	3846	154 f-a	531 m-d	875 m-d	(-) 337 d (-) 790 d (-) 425 d
Victoria	3974	144 m-a	566 f-g	917 f-g	(-) 215 d (-) 825 d (-) 320 d-a (+) 375 d (-) 428 d-m (+) 448 d
	3975	135 f	565 f	909 g	(-) 310 d (-) 825 d (-) 375 dd
Arrayán	2767	153 f-a	582 m	905 m-g	(-) 425 d-a (-) 837 d-a

(-) (*) Reacción endotérmica.

(+) (**) Reacción exotérmica.

Significado de los símbolos:

m = medio; f = fuerte; d = débil; g = agudo;

dd = muy débil; gg = muy agudo; a = ancho.

TABLA N° 3

ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS ARCILLAS (en base a peso seco por 100 gr.)

Muestra N°	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO
1000	41,78	41,39	13,65	2,13	1,05	—
1001	44,08	40,20	13,25	1,90	0,50	—
1002	42,66	41,02	14,45	1,86	indi.	—
1003	42,69	41,40	14,14	1,76	indi.	—
3847	43,25	37,05	16,30	2,55	0,83	—
3848	42,63	37,83	16,40	1,94	1,19	—
I	28,33	50,56	16,86	1,90	2,34	—
II	30,20	51,10	14,09	2,26	2,57	—
III	34,66	43,94	18,08	1,97	1,32	—
2767	39,81	45,40	12,46	2,31	—	—
3845	33,89	50,28	11,00	2,78	2,03	—
3846	29,98	59,34	6,13	2,87	1,68	—
3974	39,76	40,11	16,76	2,48	0,87	indi.
3975	42,26	37,56	16,74	2,63	0,78	indi.
2774	32,28	53,21	12,27	2,21	—	—
2775	43,06	45,30	8,91	2,41	0,30	—

ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde die mineralische Beschaffenheit der Tone einiger Boeden untersucht, die aus holozenischen und pleistozenischen vulkanischen Aschen in Sued und Zentral Chile entstanden sind. Diese Boeden bilden swei wichtige Gruppen, die in Chile unter den Namen "Trumao" und "Rojos Arcillosos" (Rote Tone) fuer den juengeren resp. den aelteren Boden bekannt sind. In beiden Fällen zeigen die Aschenboeden basaltische und basalt-andesitischen Charakter.

Die Muster der Tonboeden wurde nach internationalem Verfahren gesammelt und durch folgenden Methoden geprueft: Differentialthermoanalyse, chemische Analyse, Deshydrationskurven und einige weiter durch Elektronenmikroskopische, Austauschkapazität.

Es wurde festgestellt, dass in den Boeden "Rojos Arcillosos", kaolinitische kristallinische Minerale vorherrschen, die in verschiedenen starken Masse mit Kristallinem Eisen und Aluminium Oxyd verbunden sind, einige sogar mit geringen Mengen von Allophan. Andererseits herrscht das Allophan bei den meisten der "Trumaos" vor; in einigen Fällen sogar staerker als das Halloysit und zwar in mehr oder weniger starken Grad verbunden mit amorphen und kristallinen Eisen und Aluminium Oxyden.

Das Veraehlnis $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ aendert sich: sein Durchschnittswert ist 1,8 fuer die Boeden "Rojos Arcillosos" waehrend fuer die "Trumaos" dieser Wert 1,3 ist. Swischen den Ton Mineralen, dem urspruenglichen Material und dem Alter des Bodens besteht ein genetisches Verhaeltnis. Die Verwiteerung nimmt mit dem Alter zu und es ergibt sich die Annahme einer natuerlichen mineralischen Reihen Folge: vulkanische glas-allophan-halloysit und kaolinit.

Die Anwesenheit des Allophan, das charakteristisch ist fuer die ersten Stadien der Verwitterung der "Rojos Arcillosos" wird durch die Tatsache erklaert, dass neuere Aschenausbrueche diese Boeden beeinflusst haben und sie verjuengt haben.

BIBLIOGRAFIA

- 1.—ALBAREDA, J. Ma.; ALEIXANDRE, V. y SANCHEZ CALVO, Ma. DEL C. 1942. Suelos de Origen Silúrico pertenecientes a la zona húmeda española. An. Edaf. Fis. Veg., p. 492.
- 2.—ALEIXANDRE, V. 1949. — An. Edaf. y Fis. Veg. VIII, p. 33.
- 3.—ALMEYDA, E. y SAEZ, F. 1958. — Recopilación de datos climáticos de Chile y Mapas sinópticos respectivos. Min. de Agricultura, Direc. Gener. de Prod. Agr. y Pes. DTICA. Santiago.
- 4.—AOMINE SHIGENORI and IKUO KODAMA. 1956. — Clay of some Arable Soils in Miyasaki Prefec. of the Faculty of Agr. Kyushu Univ. Vol. 10 Nº 4, pp. 355-364.
- 5.—AOMINE SHIGENORI and YOSHINAGA NAGANORI. 1955. — Clay Minerals of some well-drained volcanic-ash soils in Japan. Soil Science Nº 79, pp. 349-358.
- 6.—AOMINE SHIGENORI and HIGASHI TOSHIO. 1955. — Clay Minerals of Alluvial Soils (Shira River). Part. 1º. Jour. of the Faculty of Agric. Kyushu University. Vol. 10.
- 7.—AOMINE SHIGENORI and HIGASHI TOSHIO. 1956. — Clay Minerals of Alluvial Soils in Kyushu. Part. 2º. Jour. of the Faculty of Agric. Kyushu University. Vol. 10 Nº 4.
- 8.—PANDLETON, R. L. 1949. — Commonwealth Bur. Soil Sci. Tech. Comm. Nº 46, p. 62.
- 9.—BIRREL, K. S. and FIELDDES, M. 1952. — The Allophan in Volcanic-ash soils of New Zealand. Jour. of Soil Sci. 3, pp. 156-66.
- 10.—BRAMAO, L.; CADY, J. G.; HENDRICKS, S. B. and SWERDLOW, M. 1952. Characterization of Kaolin Minerals. Soil Sci. 73, pp. 273-287.
- 11.—BRUGGEN, J. 1950. — Fundamentos de la Geología de Chile. Inst. Geogr. Militar. Santiago-Chile.
- 12.—DECARAF. Departamento de Conservación y Administración de Recursos Agrícolas y Forestales. Min. Agric. Santiago-Chile.
- 13.—DIAZ VIAL, C. — Comunicación personal.

- 14.—EDELMAN, C. H. 1949. — Commonwealth Bureau of Soil Science. Tech. Comm. Nº 48, p. 69.
- 15.—EGAWA TOMJI, YUKATA WATANABE and AKIO SATO. 1955. — Studies on the Clay Minerals of some Upland Soils in Japan. Bull. of the National Inst. of Agric. Sciences. Japan. Serie B, Nº 5.
- 16.—FIELDES, M. 1957. — Clay Mineralogy of New Zealand Soils. Part 4: differential thermal analysis. New Zealand Jour. of Sc. and Tech. Vol. 38 Nº 6.
- 17.—FIELDES, M. 1955. — Clay Mineralogy of New Zealand Soils. Part II. Allophan and related mineral colloid. New Zealand Jour. of Sc. and Tech. Vol. 37 Nº 3, pp. 336-350.
- 18.—FIELDES, M. and SWINDALE, L. D. 1954. — Chemical Weathering of Silicates and Soil, Formation. New Zealand Soil. Sci. Tech. Secc. B., 36, pp. 140-154.
- 19.—FUENZALIDA, N. 1950. — Geografía Económica de Chile. Cap. IV. Vol. I, pp. 184-254 (Corporación de Fomento de la Producción) Santiago.
- 20.—GETHIN-JONES. 1949. — Commonwealth Bur. Soil Sci. Tech. Comm. Nº 46, p. 59.
- 21.—HARDJOSOESTASTRO, R. RACHMAT. 1952. — Preliminary notes on Cristobalite in clay fractions of volcanic-ash soils. Institut of Soil Research. Bagor. Indonesia.
- 22.—Inst. de Edafología y Fisiología Vegetal. Laboratorio de Petrografía Sedimentaria. C. S. I. C. Madrid-España.
- 23.—JACKSON, M. L.; HSEUNG, Y.; COREY, R. B.; EVANS, E. J. and VANDEN-HEUVEL, R. D. 1952. — Weathering Sequence of Clay Size Minerals in Soil and Sediments: Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 16, pp. 3-6.
- 24.—JACOB, J. 1944. — Guía para el análisis químico de las rocas.
- 25.—KANNO ICHIRO. 1956. — A pedological Investigation of Japanese Volcanic-ash Soils. Soil Sci. Nº 79, pp. 349-358.
- 26.—KANNO ICHIRO. 1956. — A pedological Investigation of Japanese Volcanic-ash Soils The Bull. of Kyushu Agric. Exp. Sta. Vol. IV, Nº 1, pp. 81-84.
- 27.—KUBIENA, WALTER. 1952. — Clave sistemática de suelos. C.S.I.C. Madrid-España
- 28.—MACKENZIE, ROBERT. 1957. — The Differential Thermal Investigation of Clays. Ed. by R. MacKenzie. Mineralogical Society. (Clay Minerals Group). London.
- 29.—MELLA L., ARNOLDO. — Comunicación personal.
- 30.—MEYER, W.; WILHEM, E. 1955. — Diccionario Geográfico etimológico Indígena Padre Las Casas, Chile.
- 31.—MOHR JUL., E. C. 1944. — The soils of the Equatorial Regions with special references to the Metherland East Indies. Published by J. W. Edwards Brother. Inc. Ann. Arbor. Michigan.
- 32.—Munsell Color Company, Inc. Munsell Soil Color Charts. 1954. — Baltimore, USA.
- 33.—MUNOZ CRISTI, J. — Reseña Geológica de Chile. Ed. Galcón. Santiago-Chile.
- 34.—POLLE, E. y LEON, L. 1956. — Las capas volcánicas de Carrán y la erupción del volcán Nilahue. Ann. de la Fac. de Ciencias Físicas y Matemáticas. Apartado del Vol. 13, pp. 97-131.
- 35.—POLLE, E. y LEON, L. 1956. — Investigación sobre algunos suelos volcánicos chilenos. Departamento de Investigaciones Agrícolas, Sección Suelos. Min. de Agricultura-Chile. (Inédito).
- 36.—POLLE, E. 1956. — Determinación colorimétrica del fósforo de cambio. Departamento de Investigaciones Agríc. Secc. Suelos. Min. de Agric. Santiago-Chile. (Inédito).
- 37.—ROBERTS, R. y DIAZ VIAL, C. 1957. — Clasificación por Grandes Grupos de los suelos de Chile. Departamento de Conservación y Administración de Recursos Agríc. y Forestales. Min. de Agricultura, Santiago-Chile.
- 38.—Report of the Clay Minerals Group Sub-Committee on Nomenclature of Clay Minerals. Clay Min. Bull. 2, 294-302.
- 39.—SUDO TOSHIO and TAKAHASHI H. 1956. — Particles shapes of the hidrated halloysite from Japanese clays. Clay and Minerals Proceeding of the Fourth National Conference on Clay and Clay Minerals, pp. 67-81.

- 40.—SUDO TOSHIO. 1953. — Clay Mineralogical Aspect of the alteration of Volcanic-glass in Japan. Clay Min. Bull. Vol. 12 N° 9.
- 41.—TAMURA, T. and JACKSON, M. L. 1953. — Structural and Energy Relationship in the formation of Iron and Aluminium Oxides, Hidroxides and Silicates. Science 117, pp. 381-383.
- 42.—TAYLOR, N. H. 1948. — Soil Map of New Zealand. New Zealand Soil Bureau Map. S. B. 280.
- 43.—THORP, J. and SMITH, C. D. 1949. — Hight categories of soils group. Soil Science. Vol. 67, pp. 117-126.
- 44.—THORP, J. 1949. — Commonwealth Bureau of Soil Science. Tech. Comm. Geol. Survey N° 46, p. 59.
- 45.—WHITE, ARTHUR. 1953. — Allophane of Lawrence Country, Indiana. Ammer. Mineralogist. January 1953.
- 46.—ZOBERLEIN, H. 1938. — Bodenkunde und Pflanz. 9, 10, p. 211.