

Las Capas Volcánicas de Carrán y la Erupción del Nilahue

Por

Leonel León R.

y

Enrique Polle O.

LAS CAPAS VOLCANICAS DE CARRAN Y LA ERUPCION DEL NILAHUE *

LEONEL LEÓN R. ** y ENRIQUE POLLE O. ***

Los suelos chilenos derivados de cenizas volcánicas post-glaciales, cubren una importante parte de la superficie agrícola del país. Las características edafológicas de estos suelos son tan particulares que desde remotos tiempos, han sido designados por los indígenas por un nombre especial que los distingue de los demás suelos. ("trumao" de trumaq = suelo arenoso) MEYER W., WILHELM E. (1955).

La evolución en el transcurso del tiempo, de los depósitos de cenizas volcánicas, sigue una ordenación propia y diferente a la de los suelos que se desarrollan a partir de otros materiales originales, y en su composición petrográfica está el origen de sus ventajas físicas y de sus deficiencias de fertilidad.

Es posible que un grupo importante de suelos de cenizas volcánicas esté conectado cronológica y fisiográficamente a sedimentos glaciales y glaciofluviales de relativa antigüedad. Por esta razón, estos suelos han perdido las cualidades texturales primigenias por el desarrollo de ciertos tipos de arcillas cristalinas, y han adquirido un característico color rojo debido a la presencia de óxidos de hierro.

Los suelos de "trumao" pertenecen a un grupo muy posterior, y su historia geológica parece comenzar en el post-glacial inferior. Estos suelos se hallan distribuidos aproximadamente hacia el sur del paralelo 35°. En la zona que va desde esta latitud hasta un poco al sur del río Toltén, donde la cuenca longitudinal se interrumpe por cordones de rocas antiguas, se extienden sobre los sedimentos identificados y denominados por J. MUÑOZ C. (1950), Morrena de la Montaña. En los mapas de suelos levantados por los Ing. Agrón. del Ministerio de Agricultura RODRIGUEZ M. (1945, 1949, 1950); LOPEZ R., ASTUDILLO S. (1945); CORNEJO R. (1950) se observa que desde un piedmont precordillerano muy redu-

* Este trabajo forma parte de las investigaciones que sobre reconocimientos, conservación y fertilidad de suelos realizan los Dpto. de Conservación de Recursos Agrícolas e Investigaciones Agrícolas del Ministerio de Agricultura. Fué recibido para su publicación: Abril de 1956.

** Ing. Agrónomo del Dpto. de Conservación de Recursos Agrícolas.

*** Ing. Agrónomo del Dpto. de Investigaciones Agrícolas.

cido en la parte septentrional, ganan en extensión hacia el valle a medida que se avanza hacia el sur, de tal manera que en el paralelo 39° su línea de término pasa al occidente de Pitrufrquén. Al reanudarse la cuenca longitudinal al sur de La Unión, los "trumaos" se proyectan hasta la cordillera de la Costa, cubriendo las morrenas y los sedimentos fluvio-glaciales de la Penúltima Epoca glacial. Esta situación se mantiene hasta Puerto Montt. Más al sur no hay investigaciones completas, aunque se sabe de la existencia de este tipo de suelo en la parte oriental de la isla de Chiloé, en Coyhaique y Balmaceda.

Es todavía un punto de controversia la forma de depositación y la cronología relativa de estos suelos. Indudablemente se trata de cenizas volcánicas, y sus materiales petrográficos parecen variar desde magmas de tipo andesítico a basáltico, aunque no es imposible la presencia de otros magmas más ácidos. Si bien es cierto que los suelos de cenizas volcánicas post-glaciales del Toltén al sur se presentan algo más evolucionados que los más septentrionales, ello debe atribuirse al clima. En general, puede señalarse que todos ellos presentan perfiles inmaduros, que denotan una edad reciente.

El reconocimiento de las zonas cordilleranas vecinas al lago Ranco, en diciembre de 1955, permitió estudiar algunas relaciones entre las capas de cenizas recientes y los suelos originados por ellas. La erupción del volcán Nilahue en julio y agosto de 1955, además de proporcionar material petrográfico fresco, permitió estudiar la forma de distribución, erosión y propiedades de fertilidad de una ceniza recién emitida.

Este trabajo tiene, pues, por objeto, servir de contribución al conocimiento del origen y evolución de los suelos chilenos.

Los autores desean expresar su reconocimiento a las siguientes personas: Ing. Agrón. Sra. A. Urbina por sus determinaciones de capacidad de cambio de cationes, Profesor N. Joel por sus análisis de Difracción de rayos X. Ingeniero Agrónomo E. Russi por sus análisis de fertilidad y muy particularmente a los señores J. Muñoz Cristi y C. Cofré por sus consejos técnicos.

A las siguientes personas se agradece su hospitalidad y colaboración durante el reconocimiento de terreno: Sr. R. Noac de Riñinahue; Sres. C. Mohr y L. Martínez de Carrán; Sres. A. Lacoste y M. Elizalde de Arquihue, y Sr. J. Keller de Shoshuenco.

I. METODOS Y MATERIALES

El trabajo de terreno (Fig. 1) consistió en un reconocimiento de la zona que se extiende desde Riñinahue hasta Quirrasco, donde se tomaron muestras de suelo y de cenizas de la erupción del Nilahue. Posteriormente se revisó sin muestrear la zona comprendida entre Llifen y Los Llolles, y después de atravesar el lago Maihue, se muestrearon algunos perfiles en el fundo Carrán. Desde este punto se visitó el cráter del volcán Nilahue. Luego se reconoció la zona que va del fundo Carrán hasta la margen noroeste del lago Huishue. Desde este punto se colec-

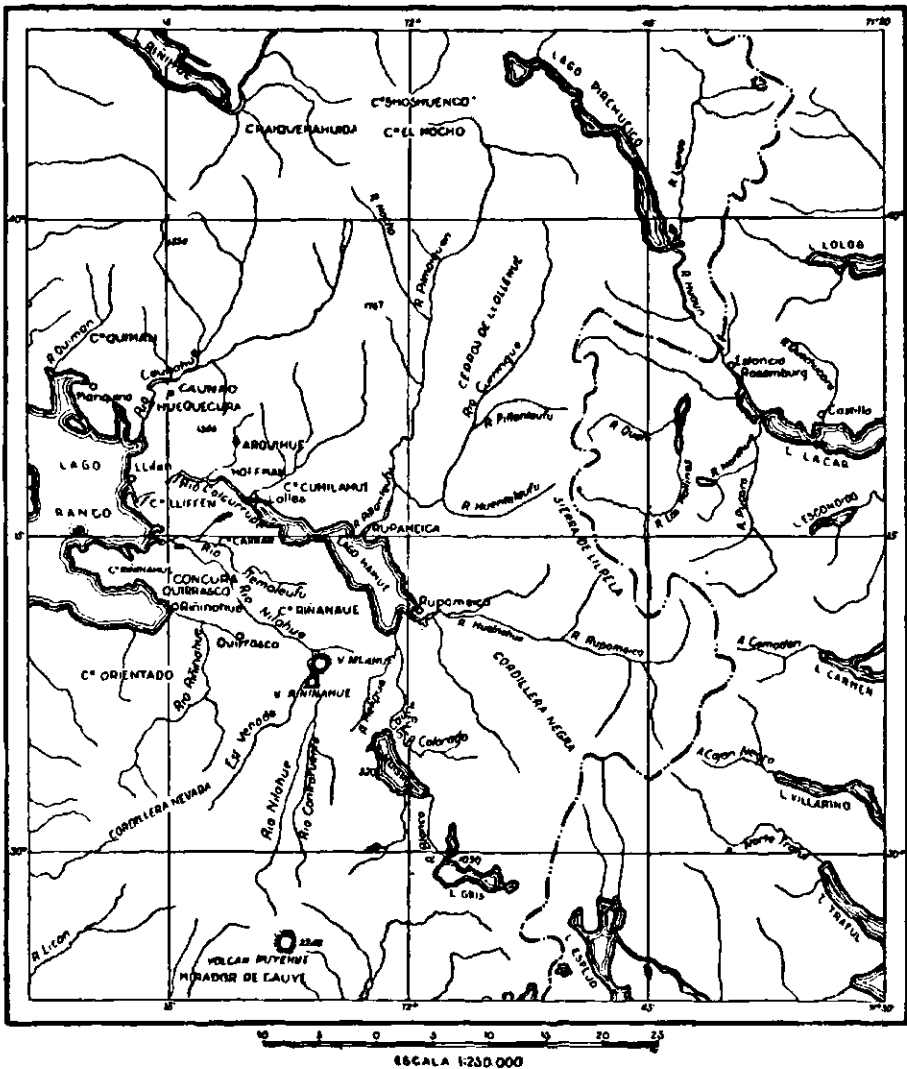


Figura N° 1

taron muestras en varios perfiles y, finalmente, se reconoció el valle Superior del río Caunahue.

Además del material colectado en los sitios descritos, se reunieron quince muestras de cenizas de la erupción del Nilahue, a diversas distancias del cráter.

Las muestras de los perfiles de cenizas y suelos fueron sometidas a los siguientes estudios:

1. Determinación de materia orgánica (colorimétrico) LETELIER E., RUSSI E. (1954).

2. Previa destrucción de la materia orgánica con peróxido de hidrógeno y lavado con ácido clorhídrico diluido, fué separada por decantación la fracción superior a 0,02 mm., la cual fué revisada con recuento

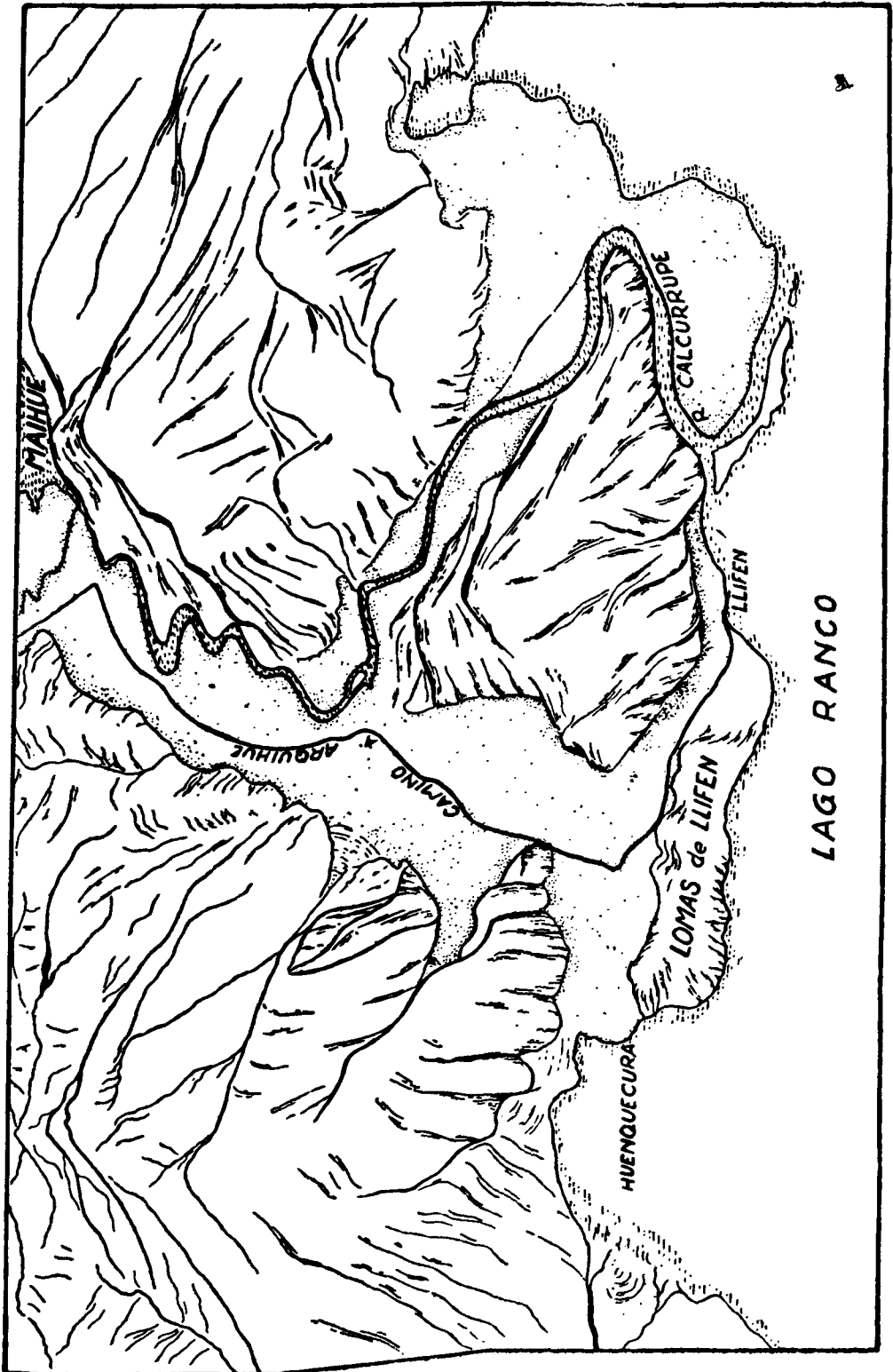


Figura Nº 2

microscópico con lupa binocular y luz polarizada, determinándose con líquidos los índices de refracción necesarios. El contenido teórico de sílice se calculó basándose en la curva determinada por W. O. GEORGE (1955).

Las muestras de cenizas de la erupción del Nilahue, se sometieron a las siguientes determinaciones:

1. Análisis granulométrico en mallas de 5 y 2 mm.
2. Análisis físico mecánico, método internacional TAMES. C (1945) de la fracción inferior a 2 mm. Esta fracción se clasificó en los siguientes rangos: Arena gruesa de 2 a 0.2 mm.; Arena media de 0.2 a 0.1 mm.; Arena fina de 0.1- 0.02 mm. (las dos primeras por mallaje y la última por decantación); Limo de 0.02 mm. a 0.002 mm. y equivalente a arcilla: menos de 0.002 mm.
3. Todas las fracciones de arena fueron eliminadas de magnetitas cuantitativamente con un imán corriente. El resto fué decantado en bromoformo de densidad 2.71, separándose cuantitativamente en minerales pesados y livianos DUPLAIX S. (1948). Estos dos grupos de minerales fueron estudiados microscópicamente con recuento. La fracción Limo de tres muestras representativas fué separada en bromoformo de densidad 2.71, cuantitativamente.
4. La fracción inferior a 0.002 mm. de estas tres muestras y una del suelo de Riñinahue fueron estudiadas por el Prof. N. Joel por difracción de rayos X en el Laboratorio de Cristalografía y Física Molecular de la Facultad de Filosofía y Educación de la Universidad de Chile.
5. En algunas muestras se determinaron constantes físicas de densidad real por el picnómetro WILLIAMS L. (1951), densidad aparente y porosidad total RICHTER CH. (1931), Humedad equivalente por el método de la centrifuga y permeabilidad U. S. Dep. of the Interior (1950).
6. Todas las muestras fueron sometidas a un análisis de fertilidad por los métodos actualmente en uso en la Sección Suelos del Depto. de Investigaciones Agrícolas del Ministerio de Agricultura.
7. En algunas muestras se determinó capacidad aniónica por el método de Hosking PIPER C. S. (1944) y la capacidad de cambio de cationes por el método de Schollenberger BLACK C.
8. Se realizó un estudio de fertilidad comparativo entre las cenizas del volcán Nilahue, colectadas en Riñinahue, una muestra de suelo agrícola preexistente en el mismo sitio, y una mezcla por iguales partes de suelo y ceniza. Se midió la respuesta diferencial de las tres muestras (suelo, ceniza y mezcla) a los fertilizantes mayores con plantas de trigo y avena, sembradas en maceteros a igualdad de volumen. El diseño experimental incluyó los siguientes tratamientos: 1. NPKCa; 2. NPK; 3. NPCa; 4. NKCa; 5. PKCa; 6. Testigo sin abono. Las dosis y abonos empleados fueron los siguientes: N = 60 Kg. de nitrógeno nítrico por Há. = 400 Kg. de salitre sódico por Há; P = 100 Kg. de anhídrido fosfórico por Há. = 178 Kg. de Ca (H_2PO_4)₂ + H₂O por Há.; K = 100 Kg. de óxido de potasio por Há. = 200 Kg. de sulfato de potasio por Há.; Ca. = 900 Kg. de óxido de calcio por Há. = 2.000 Kg. de carbonato de calcio

por Há. De cada tratamiento se sembraron cinco repeticiones. A los cuarenta días de la emergencia de las plántulas, cada macetero fué cosechado independientemente, extrayéndose las plantas completas (con raíces). Estas fueron secadas a 110° y pesadas. La interpretación de este ensayo se verifica comparando el rendimiento conseguido con la fórmula completa (NPKCa) y los tratamientos en que falta un elemento. La comparación permite establecer el efecto individual de este elemento.

II. RESULTADOS

A. Descripción geográfica.

El reconocimiento de la zona estudiada permitió establecer algunas características del paisaje que se detallan a continuación (Fig. 1).

El valle del Riñinahue tiene una amplitud de unos dos y medio kilómetros, y se interna en dirección sur oriente desde el Seno de Riñinahue, en el lago Ranco. Seis kilómetros al interior, aproximadamente, se le junta el valle del Nilahue, que desemboca en el Seno de Llifén. En la parte en que los valles tienen cursos diferentes, están separados por un macizo montañoso que se interna en el lago Ranco en forma de una península. Los dos valles unidos se continúan en una sola unidad fisiográfica en la dirección antes mencionada. El río Nilahue corre al lado norte del valle desviándose hacia el Sur en las inmediaciones de la laguna de Pocura. En este sitio recibe desde el Sur como afluente al estero Los Venados. En el ángulo que forma la confluencia de los ríos Nilahue y Los Venados, se ubican los restos del destruido cono de cenizas del volcán Riñinahue, e inmediatamente al frente, al otro lado del Nilahue, está el cráter del volcán del mismo nombre. Este está situado sobre una terraza baja del río, y su borde norte compromete parte del cerro adyacente. Un poco al oriente de esta zona el valle glacial del Nilahue se desvía bruscamente hacia el Sur, encajonándose entre dos estribaciones del volcán Puyehue, de las cuales la más oriental separa al valle anteriormente descrito del lago Huishue.

Algo al Sur de Llifén (Fig. 2) desemboca en el lago Ranco el valle del río Calcurrupe, que se interna en dirección oriente. A unos tres kilómetros al interior se le junta otro valle, que se bifurca en dos ramas cortas hacia el lago Ranco, las cuales terminan en Llifén y Huenquecura. Esta unidad orográfica subsidiaria del Calcurrupe parece haber sido un curso antiguo de este río. Entre Llifén y Huenquecura, por la ribera del lago Ranco, se extiende un paisaje de lomas suaves. El valle glacial del Calcurrupe va internándose hasta el lago Maihue, del cual parece ser su prolongación natural. Algo más al oriente del Maihue, el Calcurrupe recibe por el lado norte el valle de Arquihue que se junta con el valle del río Pillanleufu, que corre del norte y desemboca en el lago Maihue. En el triángulo delimitado por el valle de Arquihue, el valle de Pillanleufu y el lago Maihue, se alza el cerro Cumilahue. El lago Maihue con-

juntamente con el río Calcurrupe están separados del vecino valle del Nilahue por un abrupto macizo montañoso.

En el extremo sur oriente del lago Maihue desembocan, por el lado oriente el Rupameica, y el Melipue que viene desde el Sur. Este último tiene su origen en lago Huishue y corre por una estrecha quebrada de abruptas laderas labrada en rocas basálticas y sedimentos volcánicos recientes. Antes de llegar al Maihue recibe como afluente al estero de Chilcoco.

Todos los suelos desarrollados en la zona recorrida son de origen volcánico, aunque la forma de transporte es variada. Mientras que Arquihue y los valles de los ríos Calcurrupe, Nilahue y Riñinahue, presentan un relleno apreciable de material aluvial, las terrazas del borde Sur oriente del Maihue y toda la zona comprendida entre éstas y el lago Huishue está cubierta con considerables espesores de cenizas volcánicas y piroclásticos mayores. En el curso medio del río Chilcoco el espesor de cenizas alcanza alrededor de treinta metros sobre las lavas basálticas que constituyen el lecho del río.

En la zona antes descrita frente al lago Ranco, entre las dos ramas en que termina el valle antiguo del Calcurrupe, las cenizas se acumulan sobre lomaes de rocas brechosas, constituyendo un suelo liviano pardo rojizo.

En cuanto al río Caunahue, éste corre por un estrecho cajón cordillerano desde las laderas del volcán Shoshuenco hacia el Sur poniente donde desemboca en el lago Ranco. Desde este lago hasta la cuesta de Los Pérez, se observan abundantes escombros de falda en los que el río ha labrado sus terrazas en los sitios en que el cajón adquiere más amplitud. En algunas partes el río ha erodado un cauce profundo, descubriendo afloramientos brechosos y también sedimentos recientes muy finos que incluyen troncos de árboles no fosilizados. Sobre estos afloramientos se acumula material erodado de las faldas, compuesto principalmente de fragmentos de granito. Sobre ellos se observa un suelo amarillento rojizo de textura liviana, que no tiene relación con el material subyacente.

Al interior de la cuesta de Los Pérez, en su curso superior, el río Caunahue corre muy encajonado, observándose en el subsuelo de sus laderas abundantes cantos de material volcánico (lavas negras, rojizas y grises). Aquí el suelo está constituido por cenizas volcánicas mezcladas con cantos basálticos de varios centímetros.

B. Las capas volcánicas.

En el Cuadro 1 se presentan los datos del recuento mineralógico y análisis de materia orgánica de tres perfiles típicos de la zona recorrida. Los perfiles seleccionados corresponde a: 1º Suelo evolucionado sobre capas de cenizas de Carrán. 2º Trumao de las lomas de Llifén. 3º Suelo evolucionado sobre las capas volcánicas de Shoshuenco.

A continuación se resumen las características de cada perfil y su zona de distribución en el orden expresado.

1º *El perfil de Carrán.* La zona más constante en su estratigrafía se extiende entre las casas del fundo Carrán, en el borde Sur oriente del lago Maihue, y la margen Norte del Huishue. En numerosos sondajes con barreno hasta 1.80 mts. de profundidad, se observa el siguiente perfil de arriba a abajo. (Lámina I).

Capa 1. Horizonte de unos 20 centímetros de acumulación de materia orgánica del bosque, cuyo material esquelético consiste de cenizas volcánicas finas grises. Estas están constituidas por gran cantidad de vidrios porosos oscuros mezclados con menor proporción de vidrios porosos grises, ambos con inclusiones de plagioclasas. Integran además la mezcla, pequeñas cantidades de vidrios claros poco porosos y otros de color marrón. Como secundarios (alrededor de 10 a 20%) se encuentran fragmentos granitoídeos, cuarzo y minerales ferromagnésicos metamorfozados. El contenido de materia orgánica es de 5.6%.

Capa 2. Su espesor varía entre 15 y 60 centímetros. Está constituida por escoria oscura en fragmentos de 0.5 a 1 cm., formada por vidrio oscuro con abundantes plagioclasas, que acusa un índice de refracción entre 1.557 y 1.572, al que corresponde un contenido teórico de sílice de 53-51%. El vidrio muestra abundantes burbujas redondeadas y en algunos fragmentos los cristales se ven con ordenación en el sentido del escurrimiento (Láminas II y III). Esta capa contiene 1.8% de materia orgánica.

Capa 3. Esta capa tiene 50 centímetros de espesor y su color es gris parduzco. En su base se encuentran abundantes fragmentos de piroclásticos hasta de 5 centímetros de lava gris, mezclada con trozos de basaltos y granito anfibólico. El vidrio contiene plagioclasas. La materia orgánica alcanza un nivel de 2.5%.

Capa 4. Su espesor es de 40 centímetros, de color pardo amarillento. La componen en su mayor parte un vidrio claro pumicítico, mezclado con pequeñas cantidades de vidrios más oscuros. El vidrio contiene plagioclasas. El contenido de materia orgánica de esta capa es de 5.8%.

Capa 5. Su espesor varía entre 10 y 20 centímetros, con color pardo amarillento. El material pétreo se compone casi exclusivamente de piedra pómez con burbujas redondeadas. El índice de refracción del vidrio varía entre 1.497 y 1.506, al que corresponde un contenido teórico de sílice de 72,5 a 70%. El vidrio contiene cristales escasos de plagioclasa (Lámina IV). El análisis de materia orgánica revela un 2%.

Capa 6. Esta capa, de espesor no determinado, se compone de un alto porcentaje de vidrios volcánicos grises, mezclados con otros tipos más oscuros y en su fracción más fina predominan fragmentos de granitos, cuarzo y anfíboles. El vidrio contiene plagioclasas. La materia orgánica alcanza un 3.52%.

Capa 7. Esta capa fué ubicada sólo en un punto, cerca de las casas de Carrán, a 3 metros de profundidad bajo la capa de pómez. (Capa Nº 5). Entre ella y la pómez se encontraron diversas estratas mal definidas, que parecen corresponder a arrastre por agua de zonas vecinas. Se compone de escorias negras porosas grisáceas de 0,3 cm. a 1 cm. de diámetro. Su espesor es superior a un metro. Las características petrográ-

ficas de esta capa (Lámina V), recuerdan a las de la capa N° 2. Sin embargo aquélla presenta una mayor cantidad de anfíbolas bien desarrolladas en la masa vítrea. El índice de refracción del vidrio es de 1.563, cuyo contenido teórico de sílice es de 52%.

Los perfiles muestreados en la ribera occidental del lago Huishue muestran una secuencia de capas similar, con algunas variaciones de espesor. En un corte de la quebrada que desemboca en este lago por el ángulo Noroeste (Lámina I), se observa con toda claridad la capa de pómez (N° 5). La estrata N° 1 descrita en el perfil de Carrán aparece aquí separada en dos por un depósito de finas cenizas grises.

En la zona que se extiende entre el lago Maihue y el Huishue, siguiendo el curso del río Melipue la capa de pómez mantiene su espesor casi constante, con una ligera tendencia a aumentar cerca del Huishue. Por su forma de distribución, esta capa parece provenir de otro centro eruptivo, que no es el Riñinahue, ya que su espesor debiera aumentar rápidamente en ese sentido, conjuntamente con el tamaño del piroclástico. Su centro de emisión podría ser tal vez el volcán Puyehue.

2° *El perfil de las lomas de Llifén.* Este perfil fué muestreado en los lomaes marginales del lago Ranco (Fig. 2). Por su ubicación y características, se elimina la posibilidad de un modo de formación aluvial.

El suelo se compone aquí de un horizonte superficial pardo oscuro, con acumulación de materia orgánica, seguido de un material rojizo fino que descansa directamente en la roca subyacente (brecha).

La observación microscópica (Cuadro 1) revela en los primeros ocho centímetros (sin considerar los dos centímetros de cenizas de la última erupción del Nilahue) una mezcla de vidrios volcánicos claros y grises, con un 30% aproximadamente de fragmentos de pómez de 3 mm. y pequeñas cantidades de arenas no volcánicas (granito y cuarzo). En los diez centímetros que continúan en profundidad, se observa la misma mezcla, con aumento en proporción y tamaño de la pómez. Esta tendencia se acentúa en profundidad, de tal manera que a los 40 cms. de la superficie, el 80% del material corresponde a piedra pómez finamente dividida, que incluye fragmentos hasta de 1 cm. En los últimos quince centímetros que descansan sobre la roca subyacente, disminuye algo la proporción de pómez, aumentando los vidrios grises porosos y el material volcánico. Todos los materiales se presentan más alterados que en las capas superiores. El contenido de materia orgánica disminuye en profundidad. Sólo los 15 centímetros inferiores, que descansan sobre la roca, muestran un leve aumento de materia orgánica.

La piedra pómez de este perfil (Lámina VI) presenta grandes burbujas redondeadas y el índice de refracción del vidrio es de 1.500, al que corresponde un contenido teórico de sílice de 71%. Este vidrio es muy similar, en cuanto a textura e índice de refracción, al de la capa de pómez N° 5 de Carrán, aunque se manifiesta más intemperizado.

La falta de un reconocimiento detallado de la zona situada entre Arquihue y Carrán, por el borde norte del Maihue, impide establecer con seguridad la equivalencia de esta pómez con las de Carrán y Huishue. De todos modos, se trataría, para las pómez de las lomas de Llifén,

de un depósito, si no equivalente, por lo menos anterior a la erupción N° 5.

Durante el reconocimiento de las zonas vecinas de las lomas de Llifén se encontró en varias partes, en los sedimentos aluviales del valle del Calcurrupe, materiales pumicíticos soterrados por rellenos aluviales posteriores. Cerca de Llifén, en el camino que se dirige a Riñinahue, se observa sobre un sedimento arenoso semicompactado, un material rojizo de acarreo con piedras, sobre él una capa de pómez de 15 cms. y encima, un suelo rojizo de textura fina, de un metro aproximadamente de espesor. Es de notar, que el sedimento de arenas semicompactadas presenta un escaso contenido de material volcánico, consistiendo en su mayor parte de pequeños fragmentos de granito anfibólico, cuarzo y minerales ferromagnéticos alterados.

La pómez encontrada en el perfil citado presenta burbujas redondeadas y el índice de refracción del vidrio es de 1.497 con un contenido teórico de sílice de 72% (Lámina VII). Escasos cristales se observan en la masa vítrea.

3° *Las capas volcánicas de Shoshuenco.* Los perfiles de suelos estudiados en el valle superior del río Caunahue, muestran una estratigrafía poco constante. Las estratas no muestran las características propias de la depositación subaérea y en su ordenación actual parece haber intervenido el agua. A poca profundidad del suelo, se observa una gran cantidad de cantos grandes de lavas volcánicas. Esto hace suponer que el substratum se ha formado por erosión de lavas basálticas, mezcladas con piroclásticos más finos. La característica dominante del perfil superior del suelo hasta 1 metro, es el aumento de tamaño de los cantos en profundidad. Estos manifiestan cierto redondeamiento, excepto en la parte superior del suelo, en la cuesta de Los Pérez.

En cuanto a la composición petrográfica (Cuadro 1) en el material fino, se observa un predominio de vidrios grises con escasas plagioclasas. El material en general es poco poroso. Se encontró entre los piroclásticos mayores del suelo (1.5 cms.) un tipo de lava porfirica clara, con abundantes feldespatos y ferromagnéticos muy distribuidos en la masa. En la capa superficial de los perfiles más interiores del valle de Caunahue, se encontró una cantidad muy pequeña de pómez amarillenta con un índice de refracción de 1.538, al que corresponde un contenido teórico de sílice de 56%.

C. *La erupción del Nilahue.*

El estudio de las muestras de cenizas de esta erupción, permite establecer un cuadro típico de la distribución de los materiales emitidos. La clasificación petrográfica de los vidrios por recuento, es puramente descriptiva. En su examen se consideró, además de un estudio sobre la fertilidad original, una especial atención a las posibles variaciones en composición mineralógica, petrográfica y granulométrica en relación con la distancia de depositación con respecto al cráter.

El conjunto de datos colectados, arrojan alguna luz sobre la concomitancia de este tipo de actividad volcánica explosiva con los suelos resultantes.

1. *Espesores del depósito de cenizas.* Los siguientes datos observados en los valles del Nilahue, Riñinahue y vecindades del lago Ranco, permiten considerar las variaciones del espesor del depósito de cenizas al término de la actividad eruptiva del volcán Nilahue: Los mayores espesores, en las inmediaciones del cráter, podían estimarse entre 1 y 2 metros; a los 5 Kms. radiales el depósito alcanza unos 50 cms.; a los 12 Kms. es de 10 cms.; a los 16 Kms. se depositan 5 cms.; a los 40 Kms. menos de 2 cms, y a los 100 Kms. es sólo de escasos milímetros.

El espesor del depósito es, por supuesto, una función no rectilínea de la distancia, de tal manera que dicho espesor disminuye muy rápidamente hasta los primeros 16 Kms., para después hacerlo lentamente.

2º *Granulometría.* Los análisis físico-mecánicos consignados en el cuadro 2 muestran que las variaciones granulométricas fluctúan entre los límites de la textura franco arenosa de la Escala Internacional PIPER C. S. (1944). Mientras los porcentajes de limo y "arcillas mecánicas" aparecen más o menos estables a través de todo el muestreo, las arenas gruesas y medias tienden a disminuir en función de la distancia de deposición con respecto al foco de erupción. En su reemplazo aumenta la cantidad de arenas finas. Los casos que no responden a esta tendencia general pueden deberse a la influencia de los vientos dominantes durante las diferentes etapas de la erupción.

En cuanto a la dispersión del material grueso (bomba, lapilli y arena volcánica de más de 2 mm.), éste se distribuye a una distancia radial no mayor de 12 Kms. del cráter.

3. *Petrografía y mineralogía.* Las fracciones más gruesas (lapilli y lapilli fino) que están contenidas en las cenizas más cercanas del cráter, presentan aspectos vítreo, poroso y color grisáceo, y están mezcladas con fragmentos graníticos. Estos se hallan con mayor frecuencia en las cercanías del cráter, igualmente que algunos trozos de basalto que alcanzan hasta cerca de 1 mt. de diámetro. Los piroclásticos presentan abundantes cristales de feldespatos y su textura varía desde el aspecto escoriáceo hasta la compactidad casi total. Los fragmentos oscuros y compactos tienen seguramente su origen en las rocas basálticas preexistentes en la chimenea volcánica. Los granitos provienen de fragmentación del batolito andino atravesado también por ésta. Al alejarse del cráter, los fragmentos secundarios (basaltos y granitos) disminuyen, predominando en el material los piroclásticos.

La composición mineralógica de las cenizas (inferiores a 2 mm.) muestra algunas tendencias generales en relación con la distancia de transporte (Cuadro 3).

En todas las fracciones (arena gruesa, media, fina y limo) los minerales de densidad mayor a 2.71 disminuyen al alejarse del centro de emisión. Sin embargo, esta variación es de pequeña magnitud y no alcanza a afectar seriamente las características petrográficas generales de la muestra. El contenido de minerales de densidad mayor a 2.71, para el

total de la muestra (sin considerar la arcilla mecánica) varía entre 66.6% en las cercanías del cráter y 58.8% en Angol, con 295 Kms. de transporte. Las magnetitas presentan idéntica tendencia, variando, para los mismos puntos anteriores, entre 23.7 y 16.1%.

Los análisis químicos totales efectuados por el Instituto de Geología, confirman los resultados del examen mineralógico. En aquéllos el contenido de sílice varía entre 64 y 71% para las dos muestras extremas.

En cuanto a calidad mineralógica de las fracciones separadas en bro-moformo (Cuadro 3-A), la de mayor densidad se compone de vidrio vol-cánico poroso oscuro con plagioclasas, que es dominante, vidrio más claro, fragmentos graníticos y basálticos y alguna cantidad de micas.

La presencia de fragmentos graníticos en la parte de mayor densi-dad se explica por tratarse de granitos con abundantes minerales ferro-magnesianos.

A medida que disminuye el porcentaje de arena gruesa en las mues-tras, con la distancia de transporte, los fragmentos graníticos son reem-plazados por sus minerales componentes, de tal manera que en las mues-tras más lejanas, donde todavía subsiste cierta cantidad de arena gruesa, ésta se encuentra constituida principalmente de micas.

Gran parte de las micas, en algunas muestras, están substituídas por clorita que proviene de granitos metamorfizados.

Respecto a la fracción de densidad menor a 2.71, se compone prefe-rentemente de vidrios claros con plagioclasas, cierta cantidad de cuarzo y plagioclasas aisladas.

Entre los vidrios oscuros se nota un mejor desarrollo de los cristales de feldespatos en comparación con los más claros. En los vidrios vol-cánicos oscuros, y esto es notorio en la fracción fina, hay una mayor proporción de feldespatos más básicos en comparación con los vidrios más claros.

La composición de la fracción inferior a 2 micrones de las muestras analizadas por difracción por N. Joel, indica un fuerte predominio de mi-nerales amorfos, presentándose entre los minerales cristalinos, principal-mente plagioclasas y pequeña cantidad de cuarzo. El espectro no da cuenta, por supuesto, de ningún tipo de arcilla-mineral.

4. *Características físico-químicas.* Las características físico-químicas de las cenizas del Nilahue (Cuadro 4) guardan estrecha relación con la composición mineralógica de las fracciones finas. Las cenizas no poseen arcillas cristalinas, sino una fracción finamente dividida de vidrio amorfo de un rango correspondiente a éstas. Consecuentemente, su capacidad de cambio de cationes es muy baja, y ésta se halla saturada totalmente de calcio y magnesio.

A pesar de la evolución edafológica nula que presentan las cenizas, es notable el desarrollo de una pequeña capacidad de cambio de aniones. La saturación por fósforo en todos los casos es muy baja.

5. *Constantes físicas.* Las constantes físicas determinadas (Cuadro 5) ponen de relieve favorables cualidades para la erosión que poseen las cenizas del Nilahue. La densidad real alcanza un valor promedio de 2.76.

La densidad aparente de 1.79 concuerda con la textura y falta de materia orgánica. A estos datos corresponde una porosidad total del 30%.

El equivalente de humedad es muy bajo y comparable al de un suelo agrícola arenoso. No obstante, las cenizas presentan una permeabilidad lenta según la escala norteamericana U. S. Dep. of the Interior (1950) de 0,296 cms/hora. Estos valores implican para la alta pluviometría de la zona, una rápida saturación de agua, seguida de un escurrimiento superficial libre, por la falta de drenaje interno, y la correspondiente erosión.

6. *Fertilidad.* El estudio de fertilidad de las cenizas del Nilahue se expresa, en lo que respecta a determinaciones analíticas, en el Cuadro N° 6.

Las trazas de materia orgánica que se observan, se deben en parte, a pequeñas contaminaciones en el muestreo y a errores propios del método colorimétrico usado. Este no se adapta para porcentajes muy pequeños de materia orgánica, y en estos casos, lo que aparece como tal, se debe a interferencias colorimétricas con manganeso.

En todas las muestras el pH varía en torno a la neutralidad, con muy poca dispersión sobre este valor.

En lo que respecta al Nitrógeno nítrico, son válidas las mismas razones que se exponen referente a la materia orgánica.

Todas las muestras de cenizas, manifiestan un contenido de fósforo aprovechable que es ligeramente superior al de los suelos de la zona de Riñinahue.

El potasio aprovechable es el único nutriente que se presenta en cantidades normales en las cenizas del Nilahue.

El experimento de fertilidad realizado con cenizas, suelo Riñinahue y una mezcla por iguales partes de éstos, muestra los rendimientos que se incluyen en el Cuadro N° 7.

En las cenizas del Nilahue, la mayor respuesta se obtiene con aplicaciones de nitrógeno y fósforo. Se observa una ligera respuesta a la cal y algo más bajo al potasio. El incremento sobre el testigo, obtenido por la fórmula completa, es muy elevado.

En el suelo de Riñinahue, que contiene apreciable cantidad de materia orgánica, se registra solamente el efecto del fósforo. Los incrementos causados por la aplicación de cal, nitrógeno y potasio son prácticamente nulos. La respuesta de la fórmula completa, sobre el testigo, es mediana.

La mezcla de cenizas y suelo, presenta características intermedias entre los casos anteriores. Se observa un efecto muy bajo de nitrógeno y de regular importancia para el fósforo. El incremento de la fórmula completa sobre el testigo es ligeramente superior al que se registra en el suelo de Riñinahue.

III. DISCUSION

A. Tipos de suelo y modo de formación.

La información recogida durante el trabajo de terreno y Laboratorio, aunque insuficiente, puede utilizarse para establecer tentativamente algunas ideas sobre el mecanismo de formación de dos tipos de suelos de la zona.

El primero está representado por el suelo estratificado de Carrán, y el segundo, por el suelo sobre las lomas de Llifén.

En el suelo de Carrán se identifican, sin lugar a dudas, las capas de piroclásticos caídas durante los períodos eruptivos de los volcanes. Estas están representadas en el perfil por la capa 2, la parte basal de la capa 3, la capa 5 y la 7. Las capas restantes ofrecen el aspecto de una redepositación eólica. Por ejemplo, la capa 4 que yace sobre la estrata de pómez, tiene un espesor considerable y es de textura granulométrica homogénea. Se presenta en ella el mismo material de la capa 5, pero con mezcla de vidrios de otros tipos. Por estos caracteres no parece probable que haya sido depositada directamente, sino más bien constituya una redepositación de tipo eólico a expensas de materiales finos de la capa 5, con posible mezcla de piroclásticos finos de otras erupciones menores.

Iguals consideraciones pueden hacerse en cuanto al mecanismo de depósito de la parte superior de la capa 3.

La capa N° 1 muestra algunas estratas grises mal definidas, que pueden corresponder a otras actividades volcánicas menores recientes y a lavado superficial de ceniza por el agua de lluvia desde otras partes.

La capa 6, de características petrográficas diferente a las otras, pero también granulométricamente homogénea, representaría también una redepositación eólica.

La historia en el tiempo de la actividad eruptiva posterior a la erupción de pómez (Capa 5) puede seguirse en las variaciones de materia orgánica del perfil de las capas de Carrán (Cuadro 1). Debe haber transcurrido un lapso dilatado, que permitió la acumulación de materia orgánica en la capa 4, cuando sobrevino otro período de actividad eruptiva, esta vez con cenizas con predominio de lavas volcánicas grises y oscuras. Esta actividad debe haber tenido un centro, muy próximo al borde suroccidental del lago Maihue, ya que las capas depositadas presentan en su base fragmentos grandes de lavas grises, basaltos y granitos. El bajo contenido de materia orgánica, a pesar de estar en la zona radicular del bosque actual, hace presumir el transcurso de una corta etapa antes de la depositación de la capa de escorias negras (N° 2).

El crecimiento del bosque actual (Lámina VIII) debe haber comenzado antes del depósito de escoria negra (N° 2), y después de la capa de pómez (N° 5). En ningún sitio se observan restos de árboles enterrados a mayor profundidad de la capa de pómez.

El suelo de las lomas de Llifén ofrece un aspecto completamente distinto. No se presenta aquí ninguna estratificación como en Carrán, y el material generador está compuesto principalmente de una piedra

pómez fina, muy similar petrográficamente a la de la Capa 5 de Carrán, aunque por su alteración, posiblemente sea más antigua.

No parece posible que este suelo haya sido depositado directamente por una actividad eruptiva de gran magnitud, anterior a las capas que se han estudiado en Carrán.

Su espesor es demasiado grande y no muestra la estratigrafía de piroclásticos que marca las diferentes etapas del proceso explosivo. (Lámina I). Además los trozos mayores de pómez que en él se encuentran, presentan un redondeamiento que no se manifiesta en las pómez de depósito directo.

Es también altamente improbable que se haya formado por depósito directo de diversas erupciones menores sucesivas en el transcurso de un lapso dilatado, pues presenta un mismo tipo de pómez con mezcla progresiva de otros elementos en el transcurso del tiempo. La mecánica del depósito podría ser una sedimentación eólica de un material homogéneo pumicítico contaminada por depósitos directos subaéreos de la actividad eruptiva. Parece que capas muy delgadas de depósito directo cuando caen sobre un "loess volcánico" en formación, no son capaces de conservarse, ya que se infiltran por la lluvia, a la vez que se erosionan por el mismo viento.

Sin embargo, para justificar este mecanismo sería necesaria la concurrencia de tres circunstancias.

1º La existencia de una fuente de alimentación de este "loess volcánico".

2º La falta de una cubierta vegetal en la fuente del loess que permitiera su fácil erosión por el viento.

3º La existencia de vientos dominantes desde el interior de los valles cordilleranos hacia el Oeste (es difícil suponer que cantos de pómez de 1 cm. de tamaño sean arrastrados por el viento a través de todo el lago Ranco).

La fuente de alimentación de este loess volcánico podría ser una gran sedimentación fluvial en el valle del Calcurrupe después de una actividad paroxismal del volcán Puyehue. Estos serían los restos de pómez que se encuentran soterrados actualmente en dicho valle. Este tipo de actividad paroxismal de actividad explosiva puede llegar a cubrir de cenizas áreas enormes, como el caso que cita COTTON (1952), en que una capa pumicítica del volcán Taupo, en Nueva Zelandia, cubrió con un espesor de 15 cms. un área de 14.000 Kms². En la zona estudiada, la distribución de cenizas en un área de tal magnitud, que incluye las cuencas hidrográficas de numerosos esteros y ríos, trajo como consecuencia su arrastre rápido hacia los valles.

La fácil erosión por el agua y el viento, de las cenizas volcánicas, se refleja claramente en las constantes físicas de las cenizas del Nilahue, acentuándose estos caracteres en el caso de cenizas de menor densidad real. El fenómeno aún se observaba 4 meses después de la erupción del Nilahue en la zona afectada, arrastrando, todos los cursos de agua cordilleranos grandes cantidades de cenizas que se acumulaban en áreas bajas, donde disminuía la velocidad de la corriente.

El problema de la falta de una cubierta vegetal en la fuente del "loess volcánico" es mucho más complejo. Sin un conocimiento de la historia del bosque chileno en el post-glacial, solamente se puede conjeturar.

La única información disponible en la actualidad, la proporcionan los estudios de AUER V. y SALMI (1949, 1941) en Fuegopatagonia argentina. El estudio de Diagramas de polen, realizados en turberas de una extensa zona, permitieron a Auer destacar la estrecha correlación existente entre las variaciones climáticas post-glaciales de Fuegopatagonia con las ocurridas en Finlandia y Escandinavia.

Uno de los factores que permitieron a Auer, relacionar grandes áreas de turberas entre sí, fué la existencia de capas de cenizas volcánicas intercaladas en las turberas.

De los numerosos diagramas de polen estudiados por Auer, se selecciona a continuación uno de las turberas de Hua-Hum, en la vertiente argentina de la cordillera de los Andes, en la parte Oeste del lago Lacar. Esta turbera se halla situada en una zona vecina a la que se estudia en este trabajo (Fig. 1).

En el perfil en referencia, Auer describe tres erupciones de cenizas bien definidas, que denomina en orden de antigüedad I, II y III. El análisis de polen revela que "antes de la erupción I existía una flora escasa; pero después hay un aumento por parte de bosque, sobre todo de *N. antártica* y de *N. Dombeyi* que se mantiene, en su máximo, durante largo tiempo, hasta llegar al horizonte de la erupción II donde aparecen tipos de sequía, que llegan a dominar. Hasta aquí, abundan las especies de calor como *N. procera* y *N. oblicua*; pero disminuyen sensiblemente desde la erupción III en que el *N. Pumilio* llega a su máximo. Próximo a los tiempos actuales, las especies de calor vuelven a aparecer. Según esto el desarrollo del clima ha sido el siguiente: antes de la erupción I, reinó un período de clima seco, el cual paulatinamente fué cambiándose en húmedo; éste se conservó bastante cálido y húmedo hasta la erupción II, en que prevaleció un clima seco y caluroso. Desde este momento comenzó, poco a poco, un período húmedo y crudo en el que el *N. Pumilio* llegó a su máximo. El tiempo más reciente constituye un período seco y caluroso AUER V. (1949).

La correlación efectuada por Auer entre este perfil y otro de Kuusamonsuo, al Norte de Finlandia, para el cual existe una cronología, lleva a la conclusión que la erupción I se habría depositado entre 7.000 a 8.000 años AJC. aproximadamente. La erupción II habría caído entre 2.000 a 2.500 años AJC. La erupción III correspondería al comienzo de la Era Cristiana.

Este esquema cronológico de Auer, que guarda relación con las variaciones climáticas del post-glacial de Finlandia y Escandinavia, podría hacerse extensivo a Chile, solamente en el caso de que estas variaciones se consideren universales. Al respecto, otros investigadores han demostrado correlaciones similares entre Nueva Zelandia y Escandinavia y Finlandia. Además, en general, las teorías más comúnmente aceptadas para la causa de los fenómenos glaciales, suponen cambios en la canti-

dad de radiación solar recibida en la tierra (Koeppen, Milankovitch, Soergal y Wegener) que deben haber sido universales.

Sin embargo, las marcadas diferencias climáticas que reinan en la vertiente cordillerana argentina, respecto al lado chileno, podría modificar parcialmente esta cronología.

Si, abstrayendo los reparos anteriores, se aplicara el esquema de Auer al caso en discusión, se tendrían las condiciones necesarias para la erosión eólica en el post-glacial inferior y, nuevamente, el tiempo de la erupción II.

Por el grado de alteración del material del suelo de las lomas, no parece ser del post-glacial inferior, de tal manera que habrá que situarla en los 2.000 a 2.500 años antes de J. C.

El tercer punto, que dice relación con los vientos, es el más difícil de conciliar con las condiciones chilenas.

El tipo de viento dominante actualmente en Chile viene del Oeste. Sin embargo, existe también el viento denominado "puelche" que sopla en los cajones cordilleranos desde la cordillera hacia el mar. Teóricamente este viento puede adquirir gran fuerza si se producen centros de alta presión en un nevero, provocando el descenso de masas de aire hacia el exterior. Sin embargo, en el post-glacial superior, el retroceso de los hielos debe haber sido ya tan avanzado que es difícil que hubieran existido neveros capaces de dar mayor fuerza al fenómeno. En realidad, con la información actual sobre el post-glacial en Chile es bien problemático sentar cualquier explicación sobre bases serias. Por alguna circunstancia no conocida, podría aceptarse, pues, la existencia de fuertes vientos descendentes de la Cordillera, que tal vez tendría conexión con el desecamiento del clima que hizo retroceder el límite del bosque en la vertiente argentina en el post-glacial superior.

El aumento de la pluviometría que cita Auer, en el lapso siguiente al período seco habría traído como consecuencia un nuevo avance del bosque que puso fin a las condiciones favorables a la erosión.

Resumiendo: se tendría que durante una época de clima seco y caluroso, con fuertes vientos del Este, los productos de una actividad explosiva de gran magnitud, posiblemente del volcán Puyehue, reacumulados por erosión acuática en el valle, proporcionaron los materiales necesarios para la sedimentación eólica, materiales que con el tiempo se van contaminando con el producto de otras erupciones, hasta detenerse por el establecimiento definitivo del bosque. El depósito eólico de Llifén, debe haber sido, uno de los últimos episodios de la formación de suelos de este tipo en la zona.

Las capas volcánicas estudiadas en Carrán y Huishue pertenecen a otros tipos de sedimentos volcánicos. Estos se deben a depósitos directos de centros de emisión, y en el caso de Carrán, están conectados a actividades, en su mayor parte, de poca importancia relativa. Las capas volcánicas en este tipo de depósito presentan las características de la última erupción del Nilahue en cuanto a su repartición. El espesor máximo se alcanza en la zona vecina al cráter, y hasta una distancia radial de 16 Kms. el espesor de las cenizas disminuye rápidamente, de tal ma-

nera, que en Llifén por ejemplo, el espesor es alrededor de 3 cms., y en Temuco apenas de milímetros. En cuanto a la composición mineralógica, ésta permanece casi constante con la distancia. Este tipo de erupción contribuye actualmente en forma modesta a la formación de suelos por acarreo a áreas más bajas. Ya no existen las condiciones excepcionales que antes habrían prevalecido por razones de clima y falta de cubierta vegetal, para la intensa actividad erosiva eólica.

B. Mineralogía de las capas volcánicas y sus consecuencias edafológicas.

La calidad petrográfica del material volcánico que se registra en las diversas capas de la zona estudiada tiene amplias variaciones. Desde la pómez, con un contenido teórico de sílice de 72% hasta los vidrios obscuros con 51%.

En la última erupción del Nilahue, el contenido de sílice varía entre 60 y 71%, con abundantes cristales de plagioclasas. Las plagioclasas no faltan tampoco en las capas volcánicas que se registran en Carrán, aunque en la capa de pómez los cristales son muy escasos.

Es un fenómeno curioso que las últimas erupciones explosivas de cenizas de los volcanes del sur de Chile han sido casi siempre de vidrios básicos, cuando este tipo de actividad volcánica se encuentra comúnmente asociado a magmas silícicos de alta viscosidad. STONE e INGERSON (1934) explican este hecho sugiriendo que los volcanes chilenos están conectados a nidos magmáticos pequeños, con un enfriamiento muy acentuado, que los ha llevado a una cristalización parcial (de ahí la abundancia de plagioclasas). Este grado de cristalización traería como consecuencia una mayor viscosidad que crearía las condiciones apropiadas para la actividad explosiva.

Debe destacarse, sin embargo, en la zona estudiada, la gran variabilidad en cuanto al contenido de sílice en las diversas capas.

Es posible que una importante parte de los sedimentos cineríticos post-glaciales, correspondan a magmas con la suficiente viscosidad, debido a su contenido de sílice, como para justificar la actividad volcánica explosiva.

Este tipo de cenizas estaría relacionado con actividades explosivas paroxismales de gran envergadura, después de períodos lo suficientemente largos para permitir una diferenciación en los nidos magmáticos.

El contenido de sílice de los vidrios volcánicos tiene una relación directa con la subsecuente intemperización que ellos experimentan. Los vidrios ácidos presentan una mayor resistencia a ésta que los más básicos. No obstante, la arcilla resultante de la intemperización de los vidrios volcánicos está constituida FIELDS M., SWINDALE L. D. (1954) por óxidos hidratados amorfos, que pueden constituir asociaciones vagamente cristalinas muy inestables, denominadas alofanos. Estas arcillas amorfas poseen cualidades muy características. En combinación con la materia orgánica del suelo producen cementos muy estables, que desarrollan una microestructura en el suelo. Además poseen una doble capacidad de

cambio de cationes y aniones. Esta última es responsable del desarrollo de una alta capacidad de retención de fosfatos, que son inmovilizados, originando la respectiva deficiencia para las plantas.

Las cenizas del volcán Nilahue no muestran una capacidad aniónica apreciable (139 a 172 mg. de P/100 grs. de suelo), correspondiendo a valores que se encuentran en suelos no volcánicos de textura arenosa de la zona central de Chile. Sin embargo, el suelo de Riñinahue, que se ha derivado de materiales volcánicos, a pesar de su bajo contenido de arcilla (éstas son amorfas según la difracción) y poca edad, ya ha desarrollado una capacidad de cambio de aniones de 1.096 de P/100 grs. de suelo. Suelos de cenizas volcánicas más evolucionadas manifiestan una capacidad de cambio de aniones hasta de 2.000 mg. de P/100 grs. RUS-SI E. (1954, 1955).

C. Características de fertilidad en los sedimentos estudiados.

En los resultados del ensayo de fertilizantes, se observa para la ceniza del volcán Nilahue una elevada respuesta al fósforo, en tanto que en el suelo de la zona ésta es más pequeña. Este hecho puede explicarse con los datos de capacidad aniónica, considerando que el fosfato empleado en el experimento es una sal soluble en agua. La mezcla se verificó incorporando íntimamente al suelo 20 cc. de solución que contiene la dosis prescrita para el tratamiento. En estas circunstancias las condiciones para la fijación del fosfato en el suelo son excepcionales, y se reflejan en los resultados.

En las cenizas recientes, con una baja capacidad aniónica y un bajo contenido de fósforo aprovechable, el efecto del abono es claro y de gran magnitud. En el suelo, en cambio, cuya capacidad aniónica está bien desarrollada, gran parte del fosfato se fija, y su efecto es bajo. Este hecho se ha observado en otros experimentos similares en trumao de alta capacidad aniónica, en que para estas condiciones de solubilidad del fosfato y forma de mezcla, se obtiene una respuesta elevada sólo con dosis muy grandes. En los ensayos de campo, en los cuales se usan fosfatos menos solubles, y que se localizan en las vecindades de la semilla, el efecto fijador del suelo es menos notorio.

IV. CONCLUSIONES.

El estudio de terreno y de laboratorio de los sedimentos volcánicos post-glaciales, en la zona interior al lago Ranco, pone de relieve la preponderante influencia que la actividad volcánica de explosiones de cenizas, ha tenido en la formación de los suelos. Esta actividad, que continúa hasta nuestros días, ha proveído prácticamente la totalidad de los materiales generadores de suelos en la zona.

El origen de los materiales cineríticos mencionados, está en un grupo de cráteres que incluyen los volcanes Puyehue, Riñinahue, Nilahue, y presumiblemente otros no conocidos en la actualidad.

Los materiales cineríticos estudiados en este trabajo, cubren un amplio rango en cuanto a composición mineralógica y edad. Ellos varían desde vidrios volcánicos con un contenido teórico de sílice de 51%, con aspecto escoriáceo y desarrollo de abundante cristalización de plagioclasas, hasta vidrios de textura pumicítica, con escasa cristalización de minerales y contenido teórico de sílice superior al 70%. Siempre se encuentra en todos estos materiales, una proporción de elementos extra-volcánicos (fragmentos de granitos y basaltos) provenientes de la fracturación de la chimenea volcánica durante las erupciones.

La edad de los sedimentos estudiados varía, al parecer, desde depósitos ocurridos a comienzos del post-glacial superior hasta la última erupción (julio-agosto de 1955) del volcán Nilahue.

La intensidad de la actividad eruptiva en la zona, es variable aunque las capas más antiguas parecen haber intervenido en mayor escala en la formación de los suelos de la zona. Períodos largos de reposo, pueden haber producido la suficiente diferenciación del magma en las cámaras volcánicas, para proveer lavas de la viscosidad necesaria para la explosión de cenizas y otros piroclásticos de tipo pumicítico.

Las variaciones en composición granulométrica y mineralógica, con la distancia de transporte por el viento, estudiada en la erupción del Nilahue en 1955, tienen poca importancia. En general la ceniza mantiene una constancia petrográfica y mineralógica bastante uniforme a pesar de las distancias de transporte.

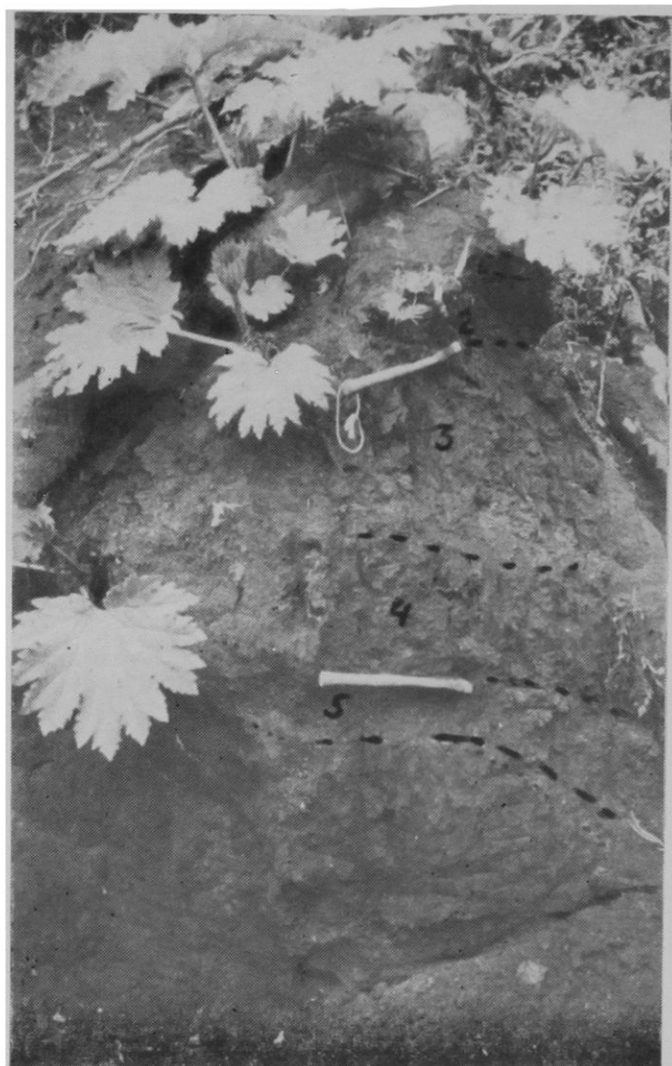
La zona estudiada, que muestra una variada geomorfología, exhibe a la vez una amplia gama de suelos en cuanto a su modo de formación. Dos perfiles tipo estudiados permiten concluir, que mientras uno (estratificado), de situación interior en los valles y cerros cordilleranos representa un depósito directo por la actividad volcánica explosiva; el otro (más alejado de los cráteres, sin estratificación) puede explicarse tentativamente como una redepositación eólica de piroclásticos finos erodados previamente por el agua hacia áreas bajas en una época del post-glacial superior en que las condiciones climáticas habrían determinado una cubierta vegetal pobre.

Finalmente puede decirse que la importancia de los depósitos cineríticos, en relación con los problemas de fertilidad de muchos suelos volcánicos chilenos reside en el tipo de arcilla en que intemperizan los vidrios volcánicos. Estas son en parte de tipo amorfo o semiamorfo y poseen una alta capacidad de fijación de cationes. Esta actividad físico-química se relaciona con las deficiencias de fósforo comunes a estos suelos.

Las cenizas frescas, como las del volcán Nilahue, que no presentan intemperización alguna, se comportan en cuanto a su fertilidad como un material inerte, similar a una arena andesítica.

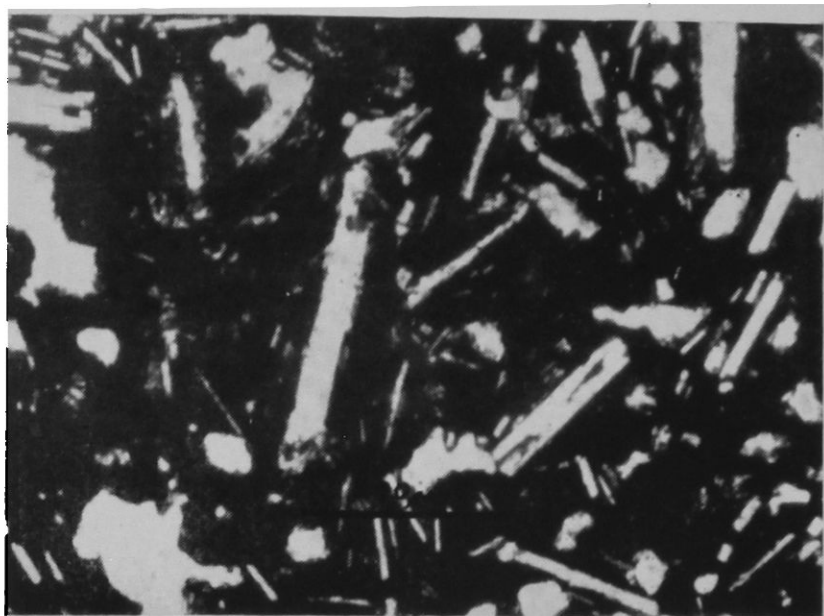


Lámina I a

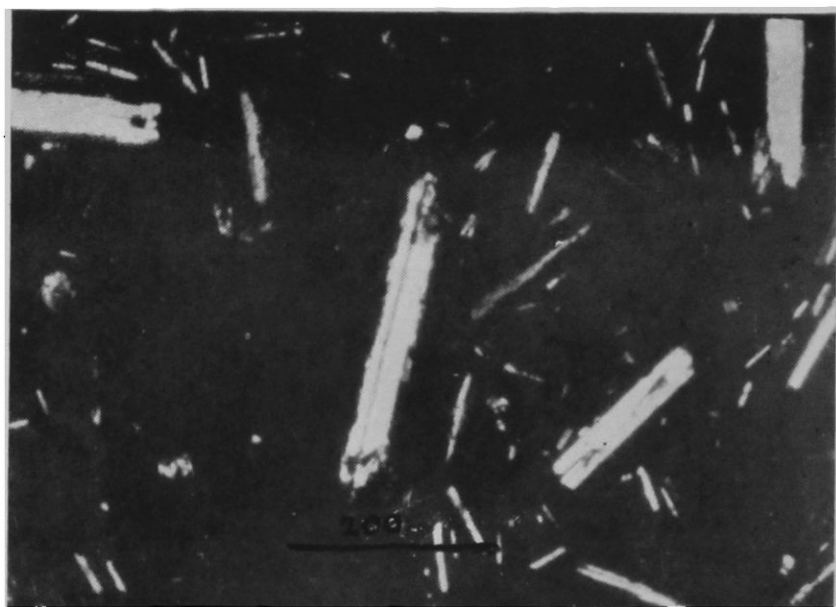


En el curso medio del estero Chilcoco, se presenta la misma secuencia de capas que en Carrín.

Lámina II

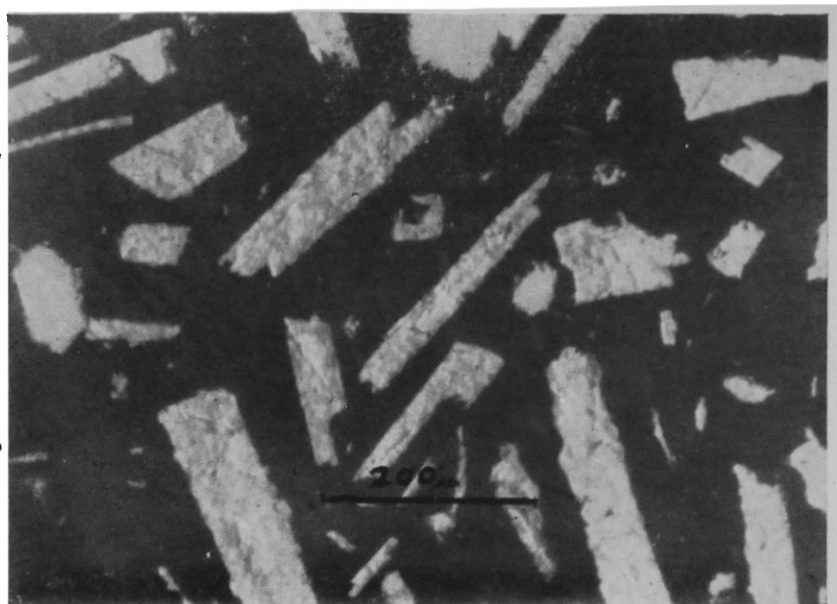


Piroclásticos de la Capa 2 en Carrán. Se observan abundantes cristales de plagioclasa y vesículas en una masa de vidrio oscuro. Sin Nicols cruzados. 144 x.

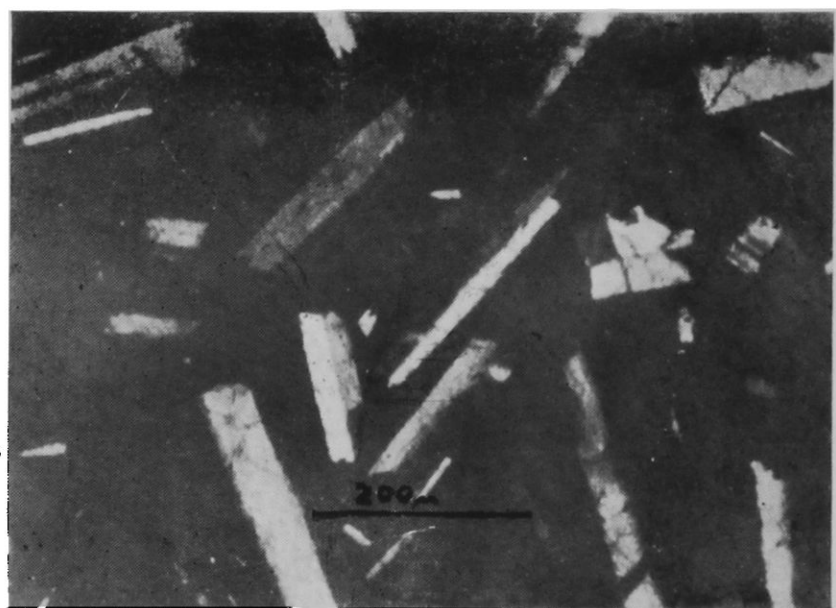


Id. a la figura anterior. Nicols cruzados. 144 x.

Lámina III

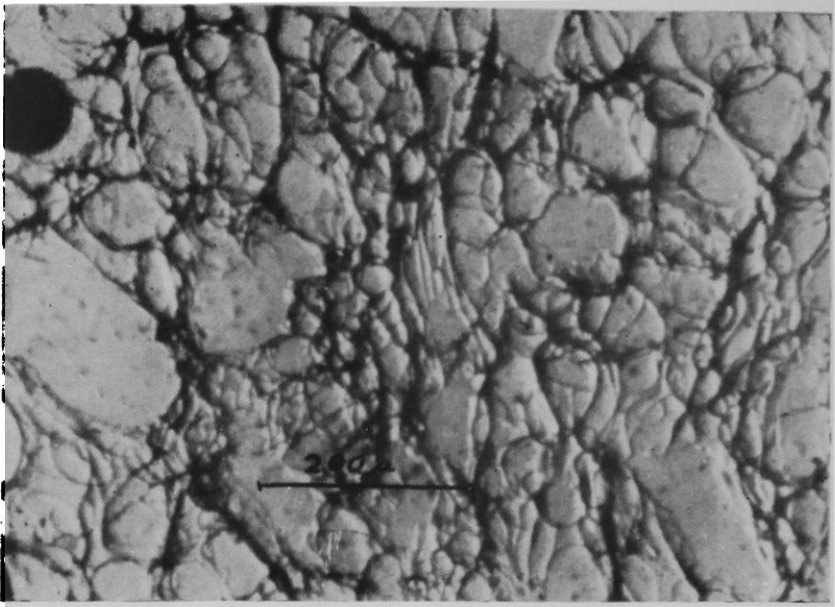


Piroclástico de la Capa 2, dos y medio kilómetros al Norte del lago Huishue. Se observan abundantes plagioclasas, algunas con extremos astillados. Sin Nicols cruzados. 144 x.

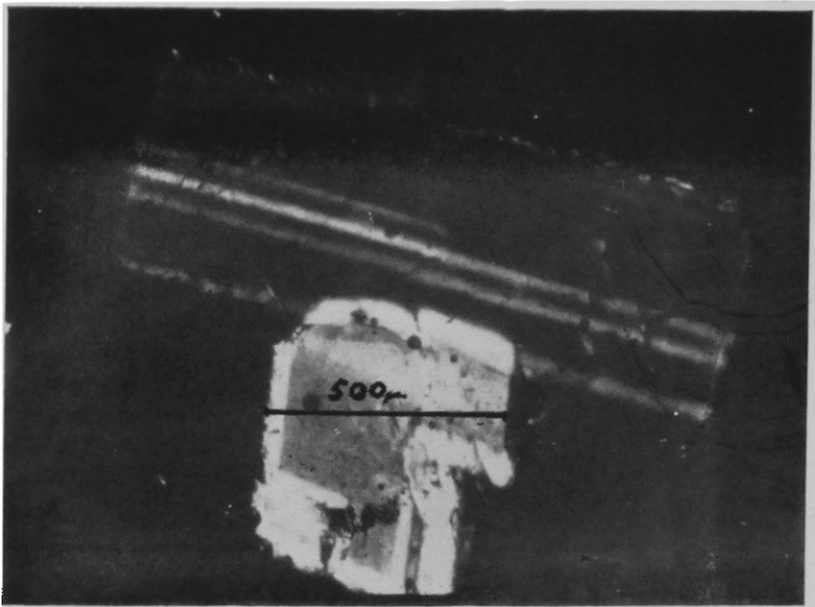


Id. a la figura anterior. Nicols cruzados. 144 x.

Lámina IV

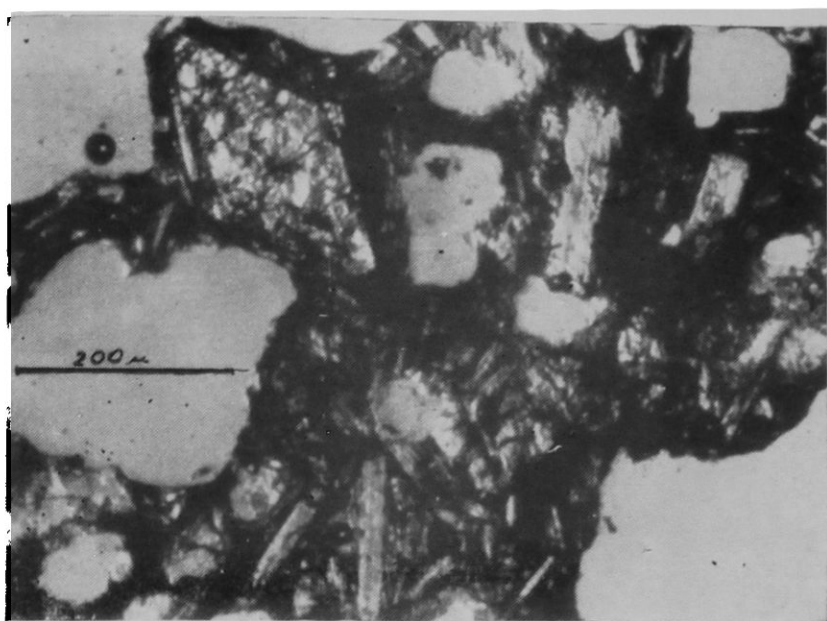


Pómez de la Capa 5 de Carrán de una muestra colectada en Huishue. Se observa gran cantidad de vesículas redondeadas. Sin Nicols cruzados. 144 x.

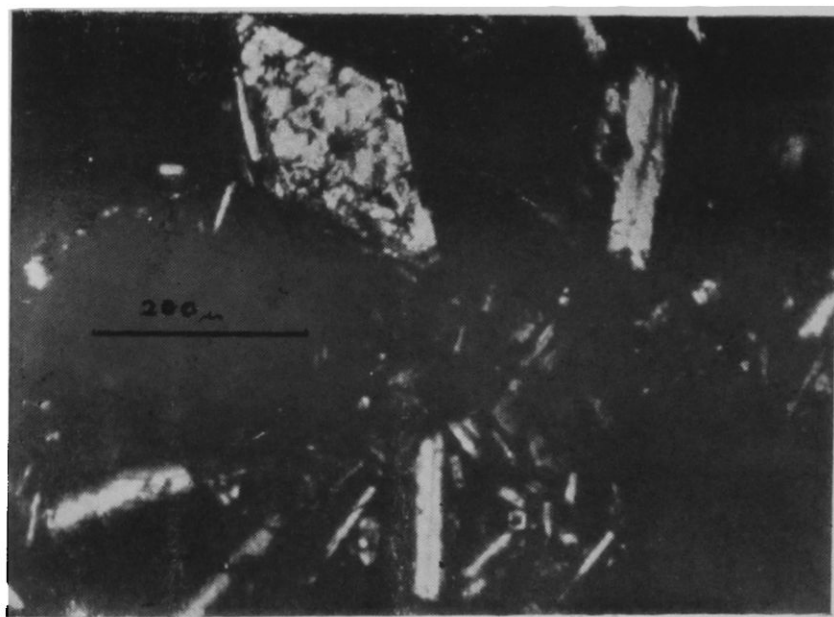


Cristal de plagioclase zonar muy desarrollado incluido en vidrio de la pómez de la Capa 5 de Carrán. Estos cristales son escasos en la masa vítrea de estos piroclásticos. Nicols cruzados. 72 x.

Lámina V

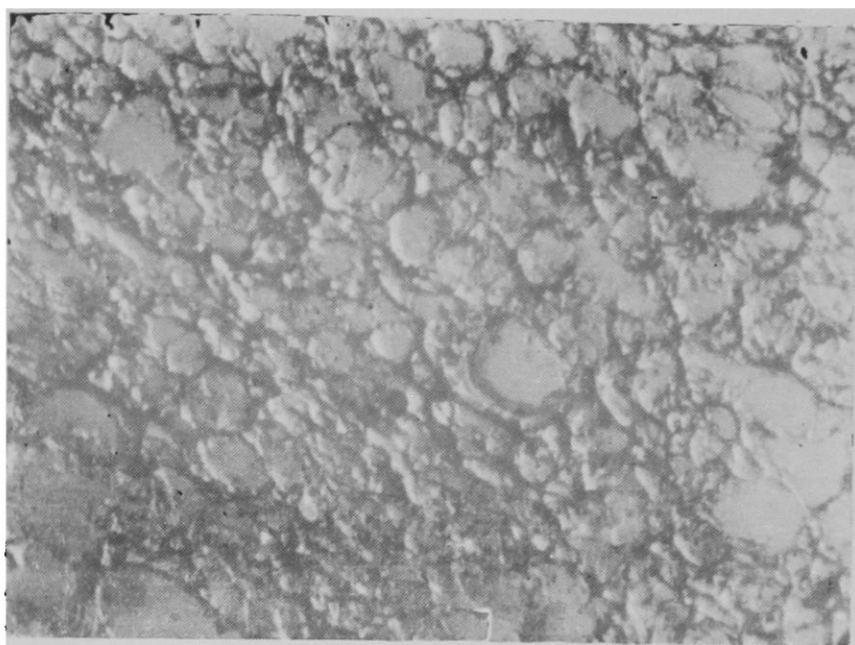


Piroclástico de la Capa 7 de Carrán. Se observan grandes vesículas y fenocristales de plagioclase, pirógenos y anfíboles muy desarrollados en la masa vítrea. Sin Nicols cruzados. 144 x.

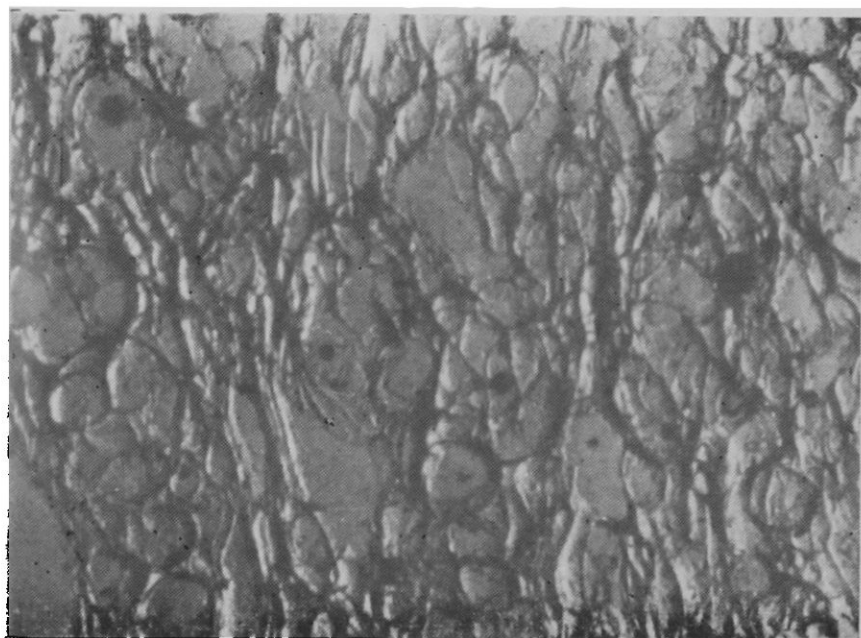


Id. a la figura anterior. Nicols cruzados. 144 x.

Lámina VI

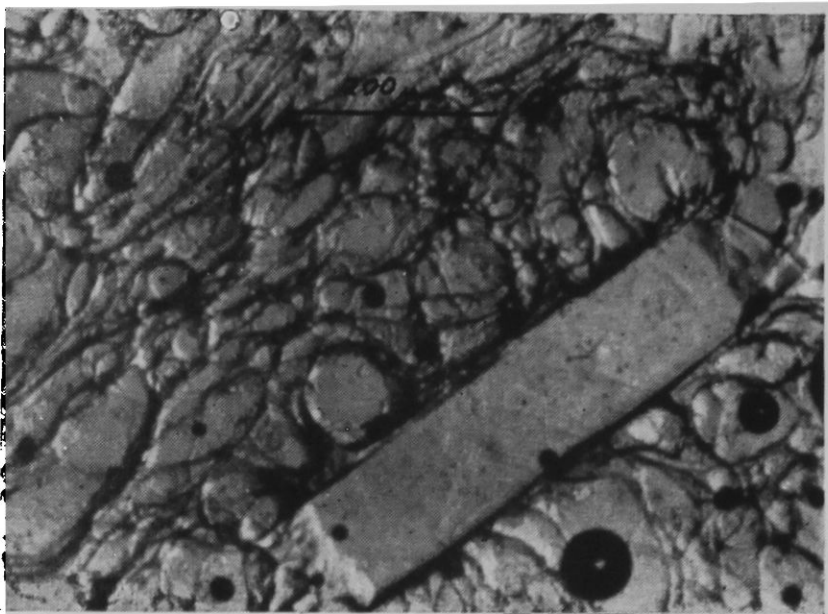


Pómez del suelo de las lomas de Llifén. Textura vesicular. Sin Nicols cruzados. 144 x.

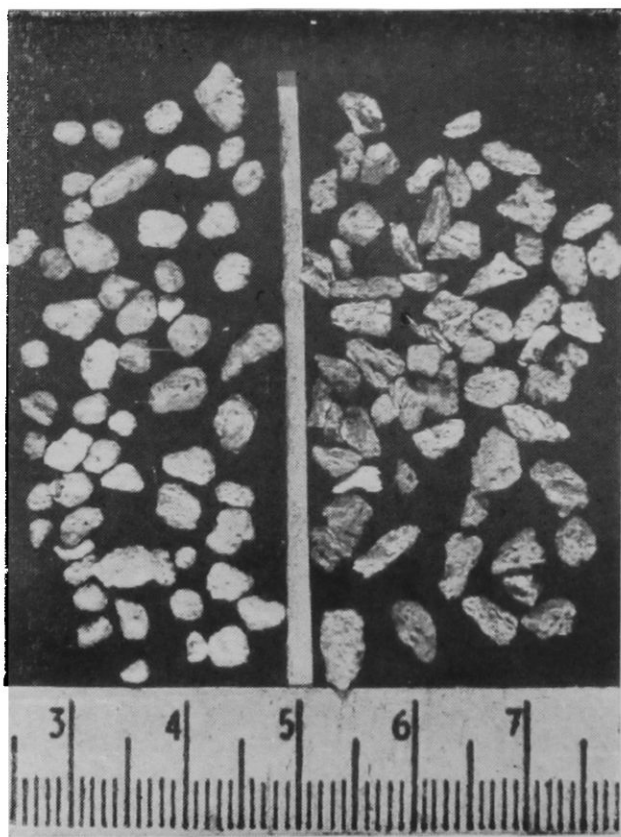


Pómez del relleno aluvial del Calcurrupe. Sin Nicols cruzados. 144 x.

Lámina VII



En la misma muestra de la Lámina VI inferior. Plagioclasa incluida en el vidrio. Estos cristales son escasos. Sin Nicols cruzados. 144 x.



A la derecha, fragmentos de pómez angulosos y bien conservados de la Capa 5 de Carrán.
A la izquierda trozos de pómez redondeados del suelo de las lomas de Llifén. 8 x.

Lámina VIII



Perfil de Carrán. El bosque ha crecido sobre la Capa 5 de pómez.

Cuadros de Análisis

CUADRO I

RECUESTO MINERALOGICO EN TRES PERFILES TIPO

	Vidrios oscuros	Vidrios grises	Vidrios claros	Vidrios marrones	Tipo pechs- tein	Obsi- diana	Pómez	% de Acce- sorios no volcánicos	% de Mat. Org.
Perfil de Carrán									
Capa 1	40	30	15	15	—	—	—	20	5,8
Capa 2	70	15	5	10	—	—	—	10	1,8
Capa 3	25	40	25	10	—	—	—	15	2,5
Capa 4	10	10	10	—	8	7	55	10	5,8
Capa 5	—	—	—	—	escaso	escasos	100	escasos	2,0
Capa 6	25	45	20	—	—	—	—	10	3,52
Capa 7	100	—	—	—	—	—	—	—	—
Trumao Llifén									
0- 7 cms.	10	15	25	20	7	8	30	20	28,32
7-17 cms.	10	15	15	10	7	8	35	20	17,60
17-25 cms.	15	15	15	—	7	8	40	15	9,58
25-40 cms.	12	12	11	—	7	8	50	10	8,28
10-55 cms.	escasos	5	5	—	5	5	80	10	7,04
55-70 cms.	—	15	5	—	8	7	65	15	9,72
Perfil Shoshuenco Valle superior									
0-15 cms	20	20	20	20	5	5	10	20	—
15-45 cms	15	60	20	5	—	—	—	15	—
45-85 cms	30	30	30	10	escasos	escasos	—	20	—

En los cuadros: 2, 3, 3A, 4, 5 y 6, las muestras corresponden a los siguientes lugares y distancias del cráter del Volcán Nilahue, expresadas en kilómetros.

- a. Próximo al río Nilahue.—4 Km.
- b. 0 - 10 cms de la capa de ceniza en Quirrasco.—8 Km.
- c. 10 - 20 cms de la capa de ceniza en Quirrasco.—8 Km.
- d. Próximo al río Nilahue.—10 Km.
- e. 0 - 5 cms de la capa de ceniza, proximidades del río Riñinahue.—12,5 Km.
- f. 5 - 10 cms. de la capa de ceniza, proximidades del río Riñinahue.—12,5 Km.
- g. Riñinahue.—15 Km.
- h. Ranco.—40 Km.
- i. Ignao (Alucemas).—41,25 Km.
- j. Ignao (Piuquenas).—41,25 Km.
- k. Lipingue.—78,25 Km.
- l. Los Lagos.—84 Km.
- m. Temuco.—183 Km.
- n. Temuco.—183 Km.
- o. Angol.—295 Km.
- p. Suelo agrícola de Riñinahue, preexistente a la erupción del Volcán Nilahue.

CUADRO 2

ANALISIS FISICO MECANICO EXPRESADO EN % SOBRE PESO SECO A 105° LIBRE DE MATERIA ORGANICA

[illegible]

CUADRO 3

DETERMINACION DE MAGNETITAS Y SEPARACION DE MINERALES EN BROMOFORMO DE DENSIDAD 2,71

Valores reducidos al porcentaje de cada fracción en las muestras

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
ARENA GRUESA:																
Magnetitas	11,2	1,1	3,7	7,4	3,1	9,5	5,0	0,3	—	—	0,2	1,9	—	—	—	2,2
Minerales pesados	7,3	2,3	2,6	2,4	0,8	3,2	0,8	0,2	—	—	—	0,1	—	—	—	1,4
Minerales livianos	16,5	3,7	11,6	9,9	3,9	11,3	2,9	0,1	—	—	0,5	0,9	—	—	—	4,6
ARENA MEDIA:																
Magnetitas	8,1	10,1	6,6	16,2	7,6	5,9	8,7	4,3	4,5	5,3	4,1	17,9	3,0	4,9	4,4	6,4
Minerales pesados	5,2	12,5	8,2	9,8	11,0	5,7	8,8	5,4	6,0	3,7	17,0	8,4	2,6	3,9	2,4	10,8
Minerales livianos	5,3	9,6	9,6	5,2	9,8	10,1	6,6	8,5	10,2	8,4	22,7	20,5	4,3	8,1	5,5	14,7
ARENA FINA:																
Magnetitas	4,4	11,0	4,9	7,9	14,7	11,4	14,7	16,0	11,6	11,4	3,7	7,0	10,3	12,1	11,7	5,4
Minerales pesados	10,8	12,7	15,4	11,5	11,2	8,2	10,1	17,7	19,4	19,5	11,4	7,3	17,7	16,9	19,5	10,5
Minerales livianos	3,5	6,9	7,9	3,2	7,0	6,8	12,6	16,3	14,1	17,4	11,4	8,7	20,2	18,7	21,0	12,5
LIMO:																
Minerales pesados	19,6						17,6								20,8	1,1
Minerales livianos	1,4						4,1								3,7	18,9

CUADRO 3A

RECUENTO MINERALOGICO

LAPILLI > 5 mm:	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
Fragmentos accidentales graníticos	13															
Fragmentos juveniles porosos oscuros	—															
Fragmentos juveniles porosos claros	37															
Fragmentos volcánicos compactos oscuros	25															
Fragmentos volcánicos compactos claros	25															
Total	100															
LAPILLI FINO 5 - 2 mm:																
Fragmentos accidentales graníticos	22	26	28	4	8	6										
Fragmentos juveniles porosos oscuros	10	42	28	50	44	48										
Fragmentos juveniles porosos claros	18	22	10	26	26	38										
Fragmentos volcánicos compactos oscuros	26	10	24	18	18	2										
Fragmentos volcánicos compactos claros	24	—	10	2	4	6										
Total	100	100	100	100	100	100										
ARENA GRUESA:																
Minerales livianos																
Vidrios volcánicos porosos oscuros	40	45	30	34	31	22	21	22	26	—	17	30	—	—	—	41
Vidrios volcánicos porosos claros	6	22	38	40	32	44	25	20	47	—	50	34	—	—	—	27
Fragmentos graníticos	10	3	8	6	6	11	10	10	8	—	3	3	—	—	—	2
Cuarzo	38	28	23	18	29	22	41	25	15	—	20	22	—	—	—	25
Vidrios volcánicos compactos oscuros	4	1	1	1	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	5
Plagioclasas	1	—	—	—	1	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Anfiboles	1	1	—	—	—	—	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—
Micas	—	—	—	1	1	—	—	22	3	—	10	11	—	—	—	—
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	—	100	100	—	—	—	100

CUADRO 3 A (continuación)

RECUENTO MINERALOGICO

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
ARENA MEDIA:																
Minerales pesados																
Vidrios volcánicos porosos oscuros	53	60	55	51	61	48	62	53	46	58	57	56	51	58	61	63
Vidrios volcánicos porosos claros	21	32	23	21	27	23	20	25	29	21	31	22	34	37	28	32
Fragmentos graníticos	12	3	9	17	6	11	10	9	5	8	4	7	1	1	—	2
Vidrios compactos oscuros	1	—	—	1	—	3	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—
Cuarzo	4	2	4	3	3	4	4	6	5	2	4	2	6	5	5	3
Plagioclasas	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Anfiboles	2	—	5	—	1	2	2	1	3	2	1	8	2	—	—	—
Micas	7	3	3	7	2	9	1	6	12	9	3	3	6	1	6	—
Piróxenos	—	—	1	—	—	—	1	—	—	—	1	—	—	—	—	—
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	110	100	100	100	100	100	100
ARENA FINA:																
Fracción liviana	70	80	60	76	70	40	80	76	68	74	50	70	64	80	70	56
Vidrios volcánicos	12	12	16	16	14	40	12	12	12	12	18	14	24	12	16	32
Cuarzo	14	6	20	8	14	10	6	8	16	12	30	14	8	6	14	12
Plagioclasas	—	—	—	—	2	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Anfiboles	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Piróxenos	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Clorita Actinota	4	2	4	—	—	6	2	4	4	2	2	2	4	2	—	—
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fracción pesada																
Vidrios volcánicos	64	84	66	80	60	50	78	76	64	78	56	80	50	70	70	64
Cuarzo	24	8	20	10	20	30	8	10	16	12	18	8	36	16	24	28
Plagioclasas	12	6	6	10	12	4	8	8	16	8	8	4	10	12	6	8
Anfiboles	—	—	—	—	8	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Clorita Actinota	—	2	8	—	—	12	6	6	4	2	18	8	4	2	—	—
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	110	100	100	100	100	100	100

CUADRO 4

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IONICO

	a	b	e	f	g	o	p
Cambio de cationes:							
Capacidad total	—	3,8	3,9	3,8	—	—	—
Cationes:							
Hidrógeno	—	0	0	0	—	—	—
Calcio	—	3,4	3,5	3,6	—	—	—
Magnesio							
% saturación de bases		100,0	100,0	100,0	—	—	—
Capacidad aniónica	139	—	—	—	148	172	1.096
% de saturación de P	4	—	—	—	3	2	18

La capacidad de cambio de cationes se expresa en milequivalentes por 100 gramos.

La capacidad aniónica en miligramos de P por 100 gramos.

CUADRO 5

CONSTANTES FISICAS

	a	b	g	o
Densidad real	2,77	—	2,75	2,76
Porosidad total	—	—	35,0%	—
Densidad aparente	—	—	1,79	—
Equivalente de humedad		13,8	13,8	17,7
Permeabilidad (cms/hora)			0,296	0,261

CUADRO 6

ANÁLISIS DE FERTILIDAD

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
Materia Orgánica %	0.68	0.62	0.76	0.56	0.70	0.80	0.60	0.85	0.72	0.85	0.76	0.68	0.95	0.76	1.50	8.80
Carbonatos	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
pH	6.62	7.11	6.85	7.06	7.31	7.21	7.34	6.91	7.30	7.88	7.18	7.01	6.82	7.47	7.68	5.74
x Nitrógeno nítrico	2.2	3.00	3.35	3.35	2.60	3.65	1.80	3.35	3.35	3.35	5.10	3.35	5.10	4.45	4.40	20.30
x Fósforo aprovechable	8.65	6.72	7.66	6.72	7.16	7.61	6.72	6.27	7.16	5.76	7.10	9.85	6.90	9.85	46.48	0.67
x Potasio aprovechable	188.72	143.36	172.48	143.36	146.72	201.60	128.92	172.48	252.00	244.70	188.70	168.00	144.40	92.96	182.00	196.00

x Partes por millón.

CUADRO 7

ENSAYO DE FERTILIDAD

Peso seco a 105° de las plantas por tratamiento (media por macetero)

	Cenizas	Mezcla	Suelo
N P K Ca	1.6058	1.0491	0.9936
N P K	1.2838	1.1607	1.1157
N P Ca	1.4372	1.0899	1.1472
N K Ca	1.0063	0.8415	0.7337
P K Ca	0.9085	0.9954	1.0530
Testigo	0.7676	0.7670	0.7704
Debido a:			
Ca	0.3220	—	—
K	0.1686	—	—
P	0.5995	0.2076	0.2599
N	0.6973	0.0537	—

SUMMARY

A survey and laboratory research were carried out in order to investigate the genetic relation of precordilleran volcanic ash soils with the activity of volcanoes in the zone between Lakes Ranco and Huishue.

Two kinds of soil may be distinguished in respect of their forms of deposition. One is deposited directly by volcanoes in the form of stratified ash beds, the thicker layers being close to the craters. The mineralogical constitution of these layers varies from acid to basic volcanic glasses. This type of soil is of recent formation and is related to the activities of several craters (Riñinahue, Nilahue and Puyehue). The most recent eruption of Nilahue volcano gives a typical example of this sub-aerial deposition form. Only an area of twelve kilometers radius from the crater was covered with ash to a thickness varying from several meters to ten centimeters. The volcanic ashes of Nilahue are a mixture of juve-

nile piroclásticos with accessory basalts and accidental granite. The juvenile piroclásticos have well-developed plagioclase crystals in a matrix of glass. A mineralogical research into volcanic ashes collected at different distances from the crater, up to a maximum of 295 Kms., establishes a slight decrease with distance of heavy minerals and accidental granite content.

The other kind of volcanic ash soil, located on hills at Llifen has a secondary origin. Here, wind-carried volcanic ashes have been accumulating over a period of time. The soil is not stratified. Mineralogically it consists mainly of finely ground pumice. The larger gravels appear to have been rounded by a previous water erosion. This kind of soil is older than the stratified soil near the craters, and seems to have originated from deposits of paroxysmal explosions of Puyehue volcano, eroded by rain water and then blown over the hills at Llifen.

The expansion of forests in the cordilleran zone in recent post glacial times put an end to the extremely favorable conditions for the wind erosion of volcanic ashes. The soil at Llifen is probably one of the last deposits of this type.

An investigation into the fertility of Nilahue volcanic ash, emanating from the eruption of 1955, showed that the only nutrient present and available to any appreciable extent is potash. The phosphorus-fixing capacity of this ash is low. On the other hand, volcanic ash soil in Riñinahue valley, although comparatively immature, has already developed an appreciable phosphorus-fixing capacity.

RESUMEN

Se efectuó un trabajo de campo y de laboratorio para investigar la relación genética de los suelos precordilleranos con la actividad volcánica en la zona entre los lagos Ranco y Huishue.

En cuanto a sus formas de depositación, pueden distinguirse dos clases de suelos. Uno es depositado directamente por volcanes en forma de capas estratificadas de cenizas, donde las capas más potentes están cercanas a los cráteres. La constitución mineralógica de estas capas varía desde vidrios ácidos a básicos. Esta clase de suelo es de formación reciente y está relacionada con la actividad de varios cráteres (Riñinahue, Nilahue y Puyehue). La erupción última del volcán Nilahue es un ejemplo típico de esta forma de depositación subaérea. Solamente un área con un radio de 12 kilómetros desde el cráter se cubrió de cenizas, con espesores variables entre algunos metros y 10 centímetros. Las cenizas volcánicas del Nilahue son una mezcla de piroclásticos juveniles con basalto secundario y granito accidental. Los piroclásticos juveniles tienen cristales bien desarrollados de plagioclasas en una matriz de vidrio. Un recuento mineralógico de cenizas volcánicas recogidas a diferentes distancias del cráter, hasta un máximo de 295 kilómetros, estableció una disminución suave con la distancia de los minerales pesados y contenido de granito accidental.

La otra clase de suelos de cenizas volcánicas, localizado en las lomas de Llifén, tiene un origen secundario. Aquí, cenizas transportadas por el viento, han sido acumuladas en un periodo de tiempo. El suelo no está estratificado. Mineralógicamente consiste principalmente de pómez finamente molida. Los guijarros mayores parecen haber sido redondeados por una erosión aluvial previa. Esta clase de suelo es más antiguo que el suelo estratificado cercano a los cráteres y parece haberse originado de depósitos, de explosiones paroxismales del volcán Puyehue, erodados por el agua de las lluvias y luego sopladados sobre las lomas de Llifén.

El crecimiento de bosques en la zona cordillerana, en tiempos post-glaciales recientes, puso término a las condiciones altamente favorables para la erosión eólica de cenizas volcánicas. El suelo en Llifén es probablemente uno de los últimos depósitos de este tipo.

Una investigación sobre la fertilidad de las cenizas volcánicas del Nilahue, provenientes de la erupción de 1955, muestra que el único nutriente presente y obtenible en alguna extensión apreciable es el potasio. La capacidad de fijación del fósforo de esta ceniza es baja. Por otra parte, suelos de cenizas volcánicas en el valle del Riñinahue, aunque relativamente inmaduros, han desarrollado una apreciable capacidad de fijación del fósforo.

MINISTERIO DE AGRICULTURA
DPTO. CONSERVACIÓN DE RECURSOS AGRÍCOLAS
DPTO. INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS

LITERATURA CITADA

- AUER V. 1949. Las capas volcánicas como base de la cronología post-glacial de Fuego Patagonia. Rev. Inf. Agric. III. N° 2. Buenos Aires.
- BLACK C. Laboratory methods of soil investigations. Dept. of Agron. Iowa State Coll. Ames, Iowa.
- COTTON C. 1952. A Geomorphology. Wiley. New Zealand.
- DUPLAIX S. 1948. Determination microscopique des minéraux des sables. Paris.
- FIELDS M., SWINDALE L. D. 1954. Chemical weathering of silicates in soil formation. Journ. of Sci. and Tch. Sec. B. Vol. 36. N° 2. Wellington. New Zealand.
- LETELIER E., RUSSI E. 1954. Nueva orientación en los análisis de tierras. Simiente. Vol. 24. N.os 1-4. 89:95. Stgo.
- LOPEZ R., FLORES O., MELENDEZ E., MELLA A. Reconocimiento de suelos de la provincia de Ñuble. Inédito.
- MEYER W., WILHELM E. 1955. Diccionario geográfico-etimológico-indígena. Padre Las Casas.
- MUÑOZ CRISTI J. 1950. Geología. Geografía Económica de Chile. Tomo I. Corfo. Stgo.

- PIPER C. S. 1944. Soil and plant analysis. The Univ. of Adelaide. Australia.
- RICHTER Ch. 1931. Physical properties of Hawaii soils. Hawaii Agric. Exp. St. Bull 62. Washington.
- RODRIGUEZ M., LOPEZ R., ASTUDILLO J. 1949. Reconocimiento de suelos de la provincia de Bío-Bío. Agricultura técnica. (9) 12:133-161. Stgo.
- RODRIGUEZ M. 1945. Reconocimiento de suelos de Malleco y Arauco. Simiente. Año XV. 2º Trim. Nº 2; 61-71. Stgo.
- RODRIGUEZ M., CORNEJO R. 1950. Reconocimiento de suelos de Osorno y Llanquihue. Geografía Económ. de Chile. Corfo. T. 1. 351-360. Stgo.
- RUSSI E. 1954-1955. Determinación colorimétrica de P de cambio y capacidad de cambio aniónico en muestras de tierra correspondiente a los Ensayos de abonos. Memoria anual de la Sec. Suelos del Depto. Inv. Agríc. del Min. Agric. Stgo. Inédito.
- SALMI M. 1941. Die postglazialen Eruptionsschichten Patagoniens und Feverlands. Ann. Ac. Sci. Fenn. Helsinki.
- STONE J. B., INGERSON E. 1934. Algunos volcanes del Sur de Chile. Bol. de minas y petróleo. T. V. N.os 40-41. 635-642. Stgo.
- TAMES C. 1945. Métodos físicos y químicos. Inst. Nac. de Inv. Agron. 111-112 y 145-149. Madrid.
- U. S. Dep. of the Interior. 1950. Reclamation Manual. Irrigated land use. Release Nº 17. Washington.
- WILLIAM L. 1951. Soil Testing for engineers. Wiley. New York. 15-21.
- WILLIAM H., TURNER F., GILBERT Ch. 1955. Petrography. Freeman and Co. Sn. Francisco, p. 28.