

GEN

AGL:SF/CHI 18  
Informe técnico 1

# RECONOCIMIENTO E INVESTIGACION DE LOS SUELOS

# CHILE

SUELOS VOLCANICOS



PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO



ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA  
AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION

ROMA, 1972

RECONOCIMIENTO E INVESTIGACION DE LOS SUELOS

C H I L E

SUELOS VOLCANICOS

Informe preparado para  
el Gobierno de Chile  
por  
la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación  
en su carácter de Organismo Ejecutivo del  
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

basado en la labor de

Shigenori Aomine

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO  
ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION

Roma, 1972

FAO. Reconocimiento e Investigación de los Suelos, Chile. Suelos Volcánicos, basado en la labor de Shigenori Aomine. Roma, 1972. 59 p. 3 gráficos. AGL: SF/CHI 18. Informe técnico 1.

#### EXTRACTO

El Gobierno de Chile, con la ayuda de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación como agencia ejecutiva del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, emprendió un proyecto de Reconocimiento e Investigación de los Suelos de Chile, cuyas actividades se iniciaron en octubre de 1966 y concluyeron en diciembre de 1971.

El presente informe constituye un estudio sobre los suelos volcánicos de Chile, cuyos resultados y conclusiones pueden resumirse como sigue:

Aunque los suelos de cenizas volcánicas de Chile son extremadamente diferentes debido a la diversidad de la naturaleza de las cenizas volcánicas originarias mezcladas con otros materiales, a la topografía, el clima y la edad, se puede observar de norte a sur una tendencia general en las propiedades de los suelos "trumaos".

Los suelos trumaos al norte del paralelo 38° S, aproximadamente, tienen un menor potencial de fertilidad de nitrógeno y un alto grado de humificación en comparación con los suelos de los distritos más meridionales. El alofán de la capa inferior de los suelos trumaos del norte se comprobó que era estable a ciertos reactivos tales como el citrato y el carbonato de sodio, a diferencia de los suelos trumaos del sur y de los andosoles japoneses. Esta característica parecería que habría de tener su origen en la desecación del suelo en el verano.

Por el contrario, los suelos de los distritos más meridionales, particularmente al sur del 40° de latitud sur, despliegan un potencial de fertilidad de nitrógeno extraordinariamente elevado y una baja humificación de la materia orgánica. En uno de estos suelos se observó una nitrificación extraordinariamente baja.

La génesis de los suelos ñadis fue explicada por dos procesos de formación de suelos: la formación de suelos arroceros y la podsolización.

Asimismo, el informe contiene los resultados de los trabajos sobre la materia orgánica y la absorción de agua de los suelos trumaos. En estudios exploratorios, usando muestras de los suelos trumaos, se hicieron análisis sobre la reacción, el volumen de sedimentación de los suelos en agua y la floculación de sus coloides, y se estudió la reacción de los suelos de la Asociación Santa Bárbara.

El informe contiene también propuestas para varios temas de investigación, y sugerencias para aumentar la producción de los suelos.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación expresa su agradecimiento a las organizaciones y personas que prestaron su asistencia en la ejecución del proyecto mediante el suministro de datos, asesoramiento y servicios.

## INDICE

		<u>Página</u>
<u>Capítulo 1</u>	INTRODUCCION	1
	1.1 Temas de investigación del primer período de actividad (secciones 2 a 6 del presente informe)	1
	1.2 Temas de investigación durante el segundo período de actividad (secciones 7 a 13 del presente informe)	2
<u>Capítulo 2</u>	RESEÑA DE LAS PUBLICACIONES SOBRE LAS CARACTERISTICAS FISICAS, QUIMICAS Y MINERALOGICAS DE LOS SUELOS DE CENIZAS VOLCANICAS DE CHILE	3
<u>Capítulo 3</u>	TRANSFORMACION DEL NITROGENO DEL SUELO	5
	3.1 Muestras de suelos y métodos	5
	3.2 Resultados y discusión	6
	3.3 Conclusiones	9
<u>Capítulo 4</u>	MATERIA HUMICA DE LOS SUELOS TRUMAOS Y ÑADIS	11
	4.1 Muestras y métodos	11
	4.2 Resultados y discusión	11
	4.3 Conclusiones	12
<u>Capítulo 5</u>	ALOFAN DE ALGUNOS SUELOS TRUMAOS	13
	5.1 Muestras y métodos	13
	5.2 Resultados y discusión	14
	5.3 Conclusiones	14
<u>Capítulo 6</u>	GENESIS DE LOS SUELOS ÑADIS	16
	6.1 Materiales y métodos	16
	6.2 Resultados y discusión	16
	6.3 Conclusiones	18
<u>Capítulo 7</u>	MATERIA ORGANICA DE LOS SUELOS TRUMAOS	19
	7.1 Materia húmica de los suelos trumaos del Valle Central	19
	7.2 Materia orgánica de los suelos de la asociación Santa Bárbara	20
<u>Capítulo 8</u>	ABSORCION DE AGUA DE LOS SUELOS TRUMAOS	21
<u>Capítulo 9</u>	MINERALES PRIMARIOS DE LOS SUELOS TRUMAOS	22

	<u>Página</u>
<u>Capítulo 10</u> VOLUMEN DE SEDIMENTACION DE LOS SUELOS EN EL AGUA	23
<u>Capítulo 11</u> LA REACCION DE LA ASOCIACION SANTA BARBARA	24
<u>Capítulo 12</u> FLOCULACION DE LOS COLOIDES DEL SUELO	25
<u>Capítulo 13</u> PROPOSICIONES SOBRE FUTUROS TRABAJOS DE INVESTIGACION	26
13.1 Caracterización del suelo	26
13.2 Control de la humedad	28
13.3 Fertilización	29
<u>Apéndice</u> Bibliografía	

## LISTA DE CUADROS

1. Muestras de suelos	30
2. Contenido de nitrógeno, carbono y humedad, y pH de las muestras frescas de suelos	31
3. Nitrógeno mineral de las muestras de suelos húmedas después de la incubación	32
4. Nitrógeno mineral de las muestras de suelos incubadas después de secadas al aire	33
5. Temperatura, precipitación y humedad en los lugares donde se tomaron las muestras	34
6. Volumen de sedimentación de suelos en agua	34
7. Recuperación de nitrógeno amónico añadido a los suelos	35
8. Efecto de los fosfatos y cloruro sódico sobre la mineralización del nitrógeno orgánico	36
9. Efecto del superfosfato triple sobre la mineralización del nitrógeno orgánico del suelo	37
10. Efecto del carbonato cálcico, el sulfato magnésico y el sulfato potásico sobre la nitrificación en el suelo de Puyehue	37
11. Efecto de la humedad sobre la nitrificación	38
12. Contenidos de humedad de los suelos húmedos y secados al aire	38
13. Denitrificación de los suelos al cabo de 4 días	39
14. Muestras de suelos	39
15. Características de la materia húmica de los suelos trumaos y ñadis	40
16. Capacidades de intercambio de amonio y de calcio de los suelos trumaos que fueron tratados con peróxido de hidrógeno	41
17. Valor delta de los suelos trumaos tratados con peróxido de hidrógeno, citrato-bicarbonato-ditionito de sodio, y carbonato de sodio al 2 por ciento	42
18. Contenido de alofán de los suelos trumaos	43
19. Morfología de la muestra de suelo ñadi	44
20. Materia orgánica, composición mecánica y pH de las muestras de suelos ñadis	44
21. Composición mineralógica de las fracciones de arena de los suelos ñadis	45

	<u>Página</u>
22. Composición química de la tierra fina de las muestras de suelos ñadis	45
23. Potenciales de oxidación-reducción de las muestras de suelos incubados	46
24. Volumen de sedimentación de los suelos en agua	46
25. Reacciones de los suelos trumcos recién muestreados	47
26. Efecto del secado al aire sobre la floculación de los coloides del suelo	48

## LISTA DE GRAFICOS

1. Fertilidad potencial de nitrógeno	55
2. Tipo de ácido húmico	57
3. Relación entre la mineralización del nitrógeno orgánico del suelo y el tipo de ácido húmico	59

## Capítulo 1

### INTRODUCCION

La labor del experto, realizada en dos períodos diferentes de actividad del 14 de abril al 31 de octubre de 1970, y del 14 de junio al 9 de septiembre de 1971, incluyó durante el primer período de actividad (secciones 1 a 6 del informe):

- recoger información sobre las investigaciones previas acerca de las características físicas, químicas y mineralógicas de los suelos volcánicos de Chile;
- desarrollar, en coordinación con los programas de reconocimiento y correlación de suelos, fertilidad y ordenación de suelos, y microbiología de suelos, un programa de investigaciones sobre las propiedades de los suelos de cenizas volcánicas de Chile, con el fin de ayudar a establecer un programa adecuado para su productividad y ordenación;
- ayudar a hacer que el laboratorio mineralógico del proyecto se convirtiese en un instrumento eficiente de ayuda para labores de reconocimiento y correlación de suelos;
- capacitar a personal local en la investigación sobre suelos de cenizas volcánicas.

Durante el segundo período de actividad (secciones 7 a 13 del informe) los estudios realizados se concentraron en la orientación de la investigación actualmente en desarrollo, en el Departamento de Agrología; los estudios exploratorios de las características de los suelos, y las sugerencias para futuras labores de investigación.

#### 1.1 TEMAS DE INVESTIGACION DEL PRIMER PERIODO DE ACTIVIDAD (secciones 2 a 6 del presente informe)

Según Wright (1965) y otros como Valdés (1969) <sup>1/</sup>, el principal suelo de cenizas volcánicas de Chile es evidentemente el suelo "trumac", que abarca principalmente el Valle Central desde una zona al norte de Chillán (36°30'S) a Puerto Montt (41°30'S), y que es muy similar a los andosoles japoneses en sus propiedades morfológicas, químicas y físicas. Los diferentes conidos de Antuco, Chillán, Villarrica, Llaima, Osorno y otros de esta parte de la cordillera indican que los materiales de partida de los suelos pueden tener varios orígenes, no sólo horizontalmente, sino también verticalmente. Además, las glaciaciones han complicado más aún la composición de los materiales originarios de los suelos. (Langohr, comunicación personal). Incluso los terremotos ejercen algunos efectos sobre los suelos (Wright y Nella, 1963).

---

<sup>1/</sup> Los nombres seguidos de fecha entre paréntesis se refieren a la bibliografía, Apéndice de este informe.

Independientemente del origen de los materiales originarios del suelo, parecen existir ciertas tendencias en algunas propiedades químicas y físicas de los suelos del norte al sur (Urbina, 1965), que sugieren una diferencia en la fertilidad y en la actividad biológica que debe relacionarse con la forma de explotación de los suelos. Los trabajos de investigación publicados sobre las características físicas, químicas y mineralógicas de los suelos de cenizas volcánicas de Chile son muy escasos y se ocupan principalmente de los reconocimientos, como puede verse en la sección siguiente.

Con el fin de llevar a cabo su cometido, particularmente el correspondiente al segundo punto, hubiera sido necesario estudiar muchos problemas. Sin embargo, en vista del factor tiempo (seis meses), de los elementos disponibles y del personal facilitado al experto, los temas de investigación durante el primer período de actividad, se limitaron a los siguientes:

- 1) la transformación del nitrógeno del suelo,
- 2) la materia húmica de los suelos,
- 3) el alofán de los suelos de cenizas volcánicas,
- 4) la génesis de los suelos ñadis.

#### 1.2 TEMAS DE INVESTIGACION DURANTE EL SEGUNDO PERIODO DE ACTIVIDAD (secciones 7 a 13 del presente informe)

Las muestras de suelos que habían sido usadas en las investigaciones preliminares fueron limitadas y los tópicos estudiados fueron pocos. No obstante, los resultados fueron suficientes para estimular investigaciones más vastas tendientes a caracterizar mejor los suelos derivados de cenizas volcánicas y de encontrar medios para mejorar su productividad.

En consideración tanto a los recursos humanos como a las instalaciones disponibles, los tópicos a investigar con mayor profundidad se limitaron a tres, a saber:

- 1) Materia orgánica de los suelos trumacs;
  - a) Materia orgánica de los suelos trumacs del Valle Central,
  - b) Materia orgánica de la Asociación de suelos Santa Bárbara.
- 2) Absorción de agua de los suelos trumacs,
- 3) Minerales primarios de los suelos trumacs.

A través de estudios exploratorios se analizó la reacción de los suelos, el volumen de sedimentación de los suelos en agua, y la floculación de coloides de suelos. La Sra. María Angélica Sadzawka estudió la reacción de los suelos de la Asociación Sta. Bárbara.

Capítulo 2

RESEÑA DE LAS PUBLICACIONES SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MINERALÓGICAS  
DE LOS SUELOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS DE CHILE

En estos últimos quince años se han publicado diversos trabajos sobre los suelos de cenizas volcánicas de Chile. Sin embargo, la mayoría de ellos se ocupan de la descripción general de la morfología del suelo, características, génesis, ambiente y clasificación, y la información disponible sobre las características físicas, químicas y mineralógicas es limitadísima. Se han publicado también algunos trabajos que repiten en parte la información.

Urbina (1965) midió el peso por volumen de varios suelos trumaos y ñadis, y menciona que este valor es muy bajo, generalmente no superior a 0,7, correspondiendo las cifras más elevadas en la mayoría de los casos a las muestras de superficie. Los datos obtenidos por Bernier (1966) son similares a los anteriores y la porosidad total de los suelos es muy elevada (69 a 78 por ciento).

El análisis mecánico de los suelos trumaos ofrece poca garantía debido a la insuficiente dispersión de las partículas de arcilla (León, 1962, Besoain, 1969a). Espinoza (1969a) trató de dispersar los suelos trumaos con un dos por ciento de carbonato sódico, después de tratarlos con acetato de sodio, peróxido de hidrógeno, citrato-ditionito-bicarbonato de sodio, y 0,5N-hidróxido de sodio, y propuso este método de dispersión para el análisis mecánico de los suelos trumaos.

Un análisis químico general - pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, bases intercambiables, capacidad de fijación de fosfatos, fosfato disponible, alúmina extraíble - se ha llevado a cabo en varios suelos. Urbina (1965) menciona que el contenido de materia orgánica aumenta a medida que crece la precipitación pluvial hacia el sur, lo que a su vez aumenta el hidrógeno intercambiable, la alúmina extraíble, la capacidad de fijación de fosfatos y la capacidad de intercambio de cationes, aunque el valor del pH disminuye a medida que aumenta la materia orgánica. Schenkel (1969) muestra una disminución del aluminio extraíble y del contenido de fosfatos de los suelos después de conservarlos almacenados y manifiesta que el pH del suelo no está relacionado con otras propiedades del mismo, considerando un determinado electrodo de medida, suspensión, relación suelo/solución o procedencia de la muestra.

Los datos sobre el nitrógeno total, relación carbono-nitrógeno y cationes intercambiables son escasos (Espinoza, 1969a, Volke, 1964, Zambrano, 1964, Schenkel, 1967), y no se dispone de una composición química elemental y total de todo un suelo. Sin embargo, se han analizado varias fracciones completas de arcillas de suelos de cenizas volcánicas (Besoain, 1968/1969, 1969a, Besoain y García-Vicente, 1962). Es evidente que la relación sílice/alúmina de los suelos trumaos es baja comparada con la de los suelos "rojo-arcillosos", que se consideran como suelos de cenizas volcánicas antiguos. Espinoza (1969b) obtuvo relaciones de 0,79 a 1,40 sobre la materia disuelta con 0,5N-NaOH, y Besoain (1968/1969) comunicó relaciones de 1,16 a 1,49 para seis fracciones de arcilla fina (menos de 0,2 mm de diámetro) de suelos trumaos.

Besoain (1964, 1969a) y Besoain y García-Vicente (1962) hicieron un análisis mineralógico de fracciones de arcilla de suelos de cenizas volcánicas, comparando los minerales de los suelos trumacos (un total de 11 perfiles de suelos) con los suelos "rojo-arcillosos" (7 perfiles en total). Comprobaron que el principal mineral arcilloso era el alofán en el primer grupo y el caolín en el segundo, a veces con una cantidad muy pequeña de gibsita e illita, y con considerable imogolita en muestras especiales de suelos. Espinoza (1968) trató de aplicar el método del fluoruro sódico para detectar el alofán así como para tratar de determinar el contenido de alofán de los suelos trumacos por el método de disolución con 0,5N-NaOH y el valor delta de la capacidad de intercambio catiónico (1969b y c).

Besoain y García-Vicente (1962), León (1962) y Besoain (1969a), comunicaron las especies de minerales primarios presentes en los suelos de cenizas volcánicas de Chile. Besoain (1969a y b) discute la secuencia de la meteorización de los minerales de arcilla en los suelos de cenizas volcánicas.

### Capítulo 3

#### TRANSFORMACION DEL NITROGENO DEL SUELO

A pesar de la elevada respuesta de los cultivos a los fertilizantes nitrogenados (véase Letelier, 1969) los datos disponibles sobre el nitrógeno del suelo son extremadamente limitados en Chile. Espinoza (comunicación personal) analizó muestras de suelos trumaos tomadas en 48 puntos de las series de Santa Bárbara, que dieron los siguientes resultados medios: contenido total de nitrógeno 0,54 por ciento, con nitrógeno amónico 35 ppm; nitrógeno en forma de nitrato 40 ppm; y relación carbono-nitrógeno de 10,6. Estos contenidos de nitrógeno mineral son extraordinariamente elevados sugiriendo una acumulación estacional del nitrógeno o transformación del nitrógeno orgánico durante el espacio de tiempo transcurrido entre la recogida y la extracción de las muestras, o ambos fenómenos a la vez. La relación carbono-nitrógeno de las muestras de suelos es evidentemente baja comparada con la de los andosoles japoneses, sugiriendo una diferencia en la naturaleza de la materia orgánica de los suelos trumaos y la de los andosoles. Una aplicación adecuada de fertilizantes nitrogenados es económica no solamente para los cultivos comerciales tales como el trigo y la remolacha azucarera, sino también para los cultivos forrajeros (Clarke y Winkler, 1969). Los experimentos realizados en virtud del proyecto revelan que los suelos del distrito de Chillán tienen una menor fertilidad potencial de nitrógeno que los suelos de Temuco, aunque en ambos distritos se observó una elevada respuesta del trigo a los fertilizantes nitrogenados (Culot, comunicación personal). Así pues, el problema del nitrógeno parece ser extraordinariamente importante en Chile desde los puntos de vista científico y agrícola.

#### 3.1 MUESTRAS DE SUELOS Y METODOS

Se recogieron muestras de suelos de los primeros 15 cm de la capa de la superficie de siete suelos trumaos y uno ñadi a mediados de mayo de 1970, según se indica en el cuadro 1. Las muestras recogidas se colocaron en una bolsa de nilón sin tolueno, cuya boca se ató firmemente con un cordel. Otras muestras se colocaron en una botella de polietileno con tolueno y se cerraron bien mediante un tapón. Después de transportarlas al laboratorio, las muestras se pasaron lo antes posible a fin de que no perdieran humedad. De esta forma las muestras de suelos preparadas se utilizaron para determinar humedad, pH y nitrógeno mineral.

Se colocaron tres muestras de suelos de 100 g en un matraz Erlenmeyer de 125 ml y en dos vasos de precipitado de 250 ml. El matraz se cubrió con una servilleta de papel utilizando una cinta de goma. Se almacenó en una incubadora a 33°C restaurándolo a su peso inicial con agua destilada dos veces por semana. Los suelos contenidos en los vasos de precipitado se dejaron en la incubadora hasta que llegaron a peso constante, revolviéndolos con una espátula todos los días. Se precisaron alrededor de diez días para que quedaran completamente secos al aire. La muestra seca de uno de los vasos fue transferida a un matraz Erlenmeyer de 125 ml añadiéndosele agua destilada para llevarla al peso de 100 g, después de lo cual fue incubada como una muestra húmeda. El suelo secado del otro vaso se utilizó para analizar el nitrógeno total, el carbono orgánico y la materia húmica.

Se midió el valor del pH con un electrodo de vidrio; el nitrógeno mineral por el método Brenner (Black, 1965); el nitrógeno total por el método Kjeldahl; y el carbono orgánico por el método de combustión seca (Black, 1965).

Además de estos experimentos generales, se utilizaron algunos suelos para experimentos especiales que se describen en detalle en los párrafos respectivos.

## 3.2 RESULTADOS Y DISCUSION

### 3.2.1 Cantidad de nitrógeno mineral en los suelos

El cuadro 2 muestra la humedad, el pH, el nitrógeno mineral y total, y el contenido de carbono orgánico. La cantidad de nitrógeno mineral podría ser algo más elevada que en la fecha de la toma de la muestra, porque la extracción con 2N-KCl tuvo lugar en el laboratorio de cinco a dos días más tarde. Según los experimentos del experto (no publicados), la extracción debiera llevarse a cabo en un plazo de dos horas de la toma de la muestra con el fin de poder discutir diferencias aproximadas de 1 ppm de nitrógeno del suelo. Los antisépticos y el almacenamiento refrigerado no son suficientes para impedir la transformación del nitrógeno. Las muestras con tolueno contenían más amonio y menos nitrógeno en forma de nitrato comparadas con las muestras sin tratar. A pesar de esta falta de seguridad, el contenido de nitrógeno mineral de los suelos de cenizas volcánicas de Chile parece ser menos que el mencionado por Espinoza (comunicación personal) y es, aproximadamente, el mismo que el de los andosoles japoneses. Además, la relación carbono-nitrógeno de las muestras tampoco es diferente de la de los andosoles, y es francamente más elevada que los datos comunicados por Espinoza (comunicación personal). Según los resultados indicados en el cuadro 2, los suelos de cenizas volcánicas de Chile caen dentro de la categoría de los andosoles del Japón.

### 3.2.2 Fertilidad potencial de nitrógeno

El cuadro 3 muestra los datos sobre el contenido de amonio, y de nitrógeno en forma de nitrato, de las muestras húmedas incubadas y el cuadro 4 el de las secadas al aire. El contenido de nitrógeno mineral aumentó por la incubación, tanto en las muestras húmedas como en las secas, hasta un grado particularmente grande en el segundo caso. Esto es normal en la mayoría de los suelos. Sin embargo, hay algunos puntos notables en los datos de los cuadros.

Primero: las muestras n<sup>o</sup> 2 tienen menos contenido de nitrógeno mineral tanto en los suelos húmedos como en los secos y también es menor el porcentaje de éste con relación al nitrógeno total. El lugar de la toma de la muestra del suelo fue en la cima de una colina ondulada donde el desarrollo de vegetación era extraordinariamente pobre. Esta pobre vegetación pascícola pudiera estar relacionada con este bajo potencial de fertilidad de nitrógeno, o viceversa.

Segundo: la formación de nitrógeno mineral por incubación fue considerable elevándose a unas 70 a 130 ppm en los suelos húmedos incubados durante 48 horas y a 130-300 ppm en los suelos secados al aire e incubados durante 34 días, excepto la muestra de ñadi (n<sup>o</sup> 6) y el suelo de rendimiento extremadamente bajo.

Tercero: las muestras de los distritos meridionales tienen mayores cantidades de nitrógeno mineral acumulado tanto en los suelos húmedos como en los secados al aire, mayores porcentajes de mineralización y son más evidentemente

afectados por el secado al aire, en cuanto a la mineralización, comparados con las muestras tomadas en los distritos septentrionales, aunque no hay apreciable diferencia en el contenido de nitrógeno mineral antes de la incubación.

Cuarto: la nitrificación fue extremadamente lenta en el suelo de Puyehue (nº 7) dando por resultado una acumulación de amonio.

Quinto: el efecto de la desecación al aire sobre la mineralización del nitrógeno orgánico del suelo es notablemente elevado en la muestra de ñadi, y la nitrificación fue muy lenta en la muestra secada al aire. Sin embargo, la nitrificación puede ocurrir posteriormente como puede verse en la muestra húmeda.

Sexto: la cantidad de nitrógeno mineral en los suelos incubados tiende a aumentar con el nitrógeno total y esta tendencia es más evidente en las muestras secadas al aire, como puede verse en la gráfica 1. Sugiere esto que hay dos clases de nitrógeno orgánico: uno que se descompone fácilmente y otro que lo hace con dificultad. Existe una gran cantidad y una elevada proporción del primer tipo en los suelos del sur.

La cantidad de nitrógeno orgánico fácilmente descomponible depende de muchos factores tales como la vegetación, el clima, la naturaleza de los suelos y el manejo de éstos. Por ejemplo, un suelo deficientemente manejado disminuye la cantidad de nitrógeno orgánico fácilmente descomponible, como ha sucedido en los terrenos donde se obtuvieron las muestras N<sup>OS</sup> 2 y 5. Sin embargo, las diferentes cantidades de nitrógeno evidentes en suelos a latitudes 36° (suelos N<sup>OS</sup> 1 y 2) y 40° (suelos N<sup>OS</sup> 7 y 8), sugieren un factor climático que los distingue. Es bien sabido que una abundante descomposición de materia orgánica es producida por la desecación, y que la desecación repetida y el humedecimiento disminuye el contenido de nitrógeno orgánico fácilmente descomponible en el suelo. En los distritos del norte, aunque todos los años hay una cantidad bastante considerable de lluvia, los veranos son secos, como puede verse en el cuadro 5. La desecación de los suelos cada verano puede causar un incremento de la descomposición del nitrógeno orgánico en el distrito del norte. Si lo que sucede es que una pequeña cantidad de nitrógeno orgánico fácilmente descomponible es producida por la desecación, sus efectos aparecerán en otras propiedades del suelo.

En el cuadro 6 puede verse el volumen de sedimentación de las muestras húmedas y secadas al aire en el agua. Estos datos fueron obtenidos midiendo el suelo sedimentado en agua que contenía una pequeña cantidad de cloruro de potasio, utilizando los suelos correspondientes a 5 g de materia seca al aire y tubos de ensayo de 30 ml. El volumen de sedimentación del suelo depende de muchos factores tales como la cantidad de suelo utilizada, el volumen del tubo de medida, la cantidad de reactivo floculador, el tiempo de sacudida, la composición mecánica - particularmente los contenidos de arcilla y de materia orgánica-, la forma de las partículas de arena y la naturaleza de los coloides. Sin embargo, si la medición se lleva a cabo en las mismas condiciones para las muestras húmedas y secas, puede estimarse fácilmente el efecto del secado al aire sobre el volumen sedimentado. El cuadro 6 indica que no hubo diferencia entre las muestras húmedas y secas en los suelos números 1 y 2, en tanto que el volumen de los otros descendió apreciablemente con la desecación. Esta diferencia podría ser debida a un efecto histerético de la desecación durante la temporada seca en los primeros suelos. A este respecto, las muestras de suelos podrían dividirse en dos grupos - los que tienen una temporada seca (N<sup>OS</sup> 1 y 2) y los que no tienen temporada seca (todos menos los N<sup>OS</sup> 1 y 2). Además, el último grupo podría ser clasificado en dos subgrupos, las muestras N<sup>OS</sup> 3, 5 y 8, y las muestras N<sup>OS</sup> 4, 6 y 7. Los suelos de este último subgrupo se contrajeron grandemente por la desecación al aire, como consecuencia del amplio contenido de agua en el terreno (véase cuadro 2).

### 3.2.3 Recuperación de nitrógeno amónico añadido al suelo

El desarrollo de la remolacha azucarera no mostró respuesta a la adición de fosfato diamónico a un cierto suelo trumao en Osorno (comunicación personal, Polle y Letelier). Podría pensarse que, una posible razón de ello, podría ser la fijación de los iones de amonio por el suelo, pero dos suelos trumao ensayados (Puyehue y Futrono) no fijaron el nitrógeno amónico en una cantidad apreciable como se indica en el cuadro 7. Este experimento fue realizado añadiendo cantidades conocidas de fosfato diamónico y de cloruro amónico en forma cristalizada a los suelos húmedos de las muestras N<sup>os</sup> 7 y 8 y la condición de incubación fue idéntica a los experimentos precedentes. También en este caso se encontró una resistencia a la nitrificación en el suelo n<sup>o</sup> 7. El efecto de las sales sobre la mineralización del nitrógeno orgánico del suelo fue perceptible en el primer período de la incubación.

Los cuadros 8 y 9 muestran un aumento apreciable del contenido de nitrógeno mineral en las parcelas a las que se había añadido sales. Este efecto explica la recuperación de más del 100 por ciento de nitrógeno mineral en algunas parcelas en el cuadro 7, particularmente en los datos para los períodos de incubación de cinco días. El efecto de las sales en la mineralización no es destacado, pero contribuye a activar la fertilidad potencial de nitrógeno.

### 3.2.4 Nitrificación en el suelo de Puyehue

Como se observa en los cuadros precedentes, en la muestra de suelos n<sup>o</sup> 7 (Puyehue) hay una evidente refractariedad a la nitrificación. La adición de algunos nutrientes minerales que escasean en los suelos del sur (Schenkel, comunicación personal) y la modificación del contenido de humedad fue realizada como ensayo para acelerar la nitrificación de este suelo.

En siete matraces Erlenmeyer de 125 ml, a los que se habían añadido algunos compuestos químicos se pusieron cincuenta gramos de suelo húmedo (contenido de humedad 101 por ciento sobre la base de secado en estufa) como se indica en el cuadro 10. Después de mezclar bien el contenido, dejándolo en una incubadora a 33°C y reponiendo el agua evaporada dos veces a la semana, se determinó el contenido de nitrógeno mineral después de 11 y de 21 días. Los resultados obtenidos figuran en el cuadro 10. Como puede apreciarse en el cuadro la cantidad de nitrato aumentó algo después de aplicar los productos químicos, particularmente el carbonato de calcio. Aunque el remedio de la reacción del suelo parece estimular la actividad de los organismos nitrificantes, la nitrificación se mantuvo baja.

Como las muestras de suelo tomadas del terreno se mantuvieron en un frasco de polietileno bien cerrado con tapón después de haber sido pasadas por un tamiz de 2 mm de malla, el contenido de humedad sería aproximadamente el de la capacidad sobre el terreno. Sin embargo, un 101 por ciento de contenido de humedad en el suelo podría ser demasiado elevado para la nitrificación.

En el cuadro 11 se muestran los resultados obtenidos de las muestras de suelo regulando el contenido de humedad a cinco niveles. La reducción de la humedad se llevó a cabo extendiendo 20 g de suelo húmedo sobre una hoja de nilón durante algunas horas. Durante este tiempo el suelo se mezcló frecuentemente con una espátula a fin de reducir uniformemente el contenido de humedad. Este último se aumentó con agua destilada (2 y 4 ml a 20 g de muestras de humedad). El suelo así preparado se colocó en un frasco de polietileno de 200 ml y se cerró con un tapón.

Se quitó el tapón cuatro veces por algunos minutos durante el período de incubación (13 días). Como puede verse en el cuadro 11, la regulación de la humedad apenas influyó en la nitrificación, excepto un aumento perceptible en la humedad del 140 por ciento de la parcela n° 7 y un descenso del 37 por ciento en la parcela n° 8. Según el cuadro 12, los contenidos de humedad de las muestras de suelo preparadas cubren más que el margen de tensión de humedad entre pF 4,2 y pF 1,5. Es digno de hacerse observar que la nitrificación del suelo n° 7 aumenta a un nivel de humedad muy elevado (140 por ciento). Los iones de amonio que están embebidos en las partículas de gel de alofán podrían ser difíciles de utilizar por los organismos nitrificantes, y el exceso de agua difundiría los iones de amonio de las partículas que los organismos podrían eventualmente nitrificar.

El cuadro 12 indica que un pF 2,5 no es apropiado para la capacidad de campo de la muestra n° 7 porque la humedad es evidentemente menor que la del campo. Además el secado al aire afecta a los valores del pF.

### 3.2.5 Denitrificación de los suelos

La nitrificación del suelo n° 7, como se ha visto en varios experimentos, se ha considerado hasta ahora como extraordinariamente refractaria. Otra hipótesis podría ser la aparición de la denitrificación. Sin embargo, un experimento llevado a cabo para comprobarlo no reveló ninguna denitrificación importante en el suelo como indica el cuadro 13. Se aumentó la cantidad de nitrógeno amónico y se redujo apreciablemente la cantidad de nitrógeno en forma de nitrato en las parcelas con nitrato de potasio. Sin embargo, este cambio no puede considerarse como el resultado de denitrificación, porque la descomposición de la materia orgánica podría ser acelerada por el nitrato potásico y la actividad de los microorganismos podría consumir el nitrato presente.

## 3.3 CONCLUSIONES

La cantidad de nitrógeno mineral de los suelos de cenizas volcánicas de Chile - nitrógeno amónico y en forma de nitrato - fue menor de 20 partes por millón en mayo, y no estaba correlacionada con el contenido total de nitrógeno en los suelos. El contenido de nitrógeno mineral podría tener fluctuaciones estacionales, pero no se acumula en grado tan grande en el terreno cubierto con plantas en desarrollo.

La fertilidad potencial de nitrógeno es claramente dependiente no solo del contenido total de nitrógeno de los suelos sino también de los factores ambientales, particularmente de la temporada seca del verano. Los suelos trumacs situados en el distrito del norte (alrededor de 72° y 36°50'S) tienen una escasa fertilidad potencial de nitrógeno, lo cual indicaría la influencia de la desecación en verano. Por el contrario, los suelos de los distritos del sur, particularmente a los 40°S o más al sur todavía, son muy ricos en nitrógeno orgánico fácilmente descomponible. Esto sugiere que los suelos de los distritos del sur no han sido afectados por acciones que acelerarían la descomposición del nitrógeno orgánico, tales como la desecación al aire, la congelación, el calentamiento y un gran cambio en la reacción de los suelos.

Una muestra tomada del suelo de Puyehue fue extraordinariamente refractaria a la nitrificación, aunque no como resultado de una fijación de iones de amonio ni de denitrificación. La adición de cal o el exceso de humedad ejercen una cierta aceleración sobre la nitrificación y, sin embargo, no comunican al suelo un poder de nitrificación similar al de los otros suelos estudiados.

Además se comprobó que el pF 2,5 es demasiado elevado como margen de tensión de humedad para la determinación de la capacidad de humedad en el campo de algunos suelos trumaos.

## Capítulo 4

### MATERIA HUMICA DE LOS SUELOS TRUMAOS Y NADIS

Un andosol se distingue por su alto contenido de materia húmica independientemente del clima. No hay duda de que los suelos trumaos pertenecen al grupo andosol que se halla a un alto nivel en la clasificación de suelos. El clima desde la latitud 36°S a 41°S en el Valle Central de Chile es algo diferente al de Japón, en cuanto los suelos trumaos de la latitud 36°S a la latitud 38°S están sometidos a desecación en verano y los de la latitud 38°S a la 41°S tienen un clima más suave. Sería interesante comparar la materia húmica de los suelos trumaos con la de los andosoles japoneses, aun cuando ambos sean andosoles con un factor principal común de acumulación de materia húmica.

Los resultados de los experimentos mencionados en el capítulo precedente revelan que los suelos trumaos podrían dividirse en dos subgrupos según el factor potencial de fertilidad de nitrógeno: los que tienen temporada seca y los que no la tienen. La naturaleza de la materia húmica de ambos grupos podría variar algo.

#### 4.1 MUESTRAS Y METODOS

Las muestras de suelos utilizadas en el capítulo precedente se utilizaron para el estudio de la materia húmica. Además se añadieron otros nueve suelos como se indica en el cuadro 14.

Los suelos fueron extraídos sucesivamente con soluciones de 0,1 N-NaOH y 0,1 M-Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> y ambos extractos fueron analizados por el método Simon modificado por Kumada *et al* 1967. Como la cantidad de materia húmica extraída con pirofosfato sódico era bastante pequeña no se calcularon sus valores delta logK y RF.

#### 4.2 RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de los análisis figuran indicados en el cuadro 15. La cantidad de materia húmica extraída sucesivamente con dos reactivos se elevó al 51 a 70 por ciento de la materia húmica total, en su mayoría alrededor del 57 por ciento para los suelos de las capas superficiales, y no se observó ninguna tendencia destacable, excepto un incremento con la profundidad de la muestra.

El contenido de ácido húmico en la materia húmica extraída (PQ) varía grandemente de una muestra a otra - desde 19 hasta 56 por ciento para todas las muestras y desde 23 hasta 56 por ciento para las muestras de la capa superficial. Exceptuados los suelos Nadis, hay una notable diferencia en este valor entre los suelos al sur de la latitud 38°S y los situados al norte de ella. Los valores para los primeros son menos de 40 y los correspondientes a los últimos de más

de 50. La desecación del suelo en el verano parece disminuir la proporción de ácido fúlvico. El suelo ñadi es especial desde este punto de vista; los valores PQ de los suelos ñadis son elevados en la capa superior y bajos en las capas inferiores. Hay algo que reduce el contenido de ácido fúlvico en la capa de superficie de los suelos ñadi.

El color negro del ácido húmico parece variar en ambos grupos de suelos; el valor RF es de más de 100 para los suelos trumaos del norte y de menos de 100 para los del sur. La relación entre el valor RF y la latitud puede observarse más claramente en la gráfica 2, en la que se han señalado los valores de RF frente a los de delta logK, clasificando el ácido húmico en tipos A, B y P por los valores de RF y de delta logK (Kumada *et al* 1967). Según esto el ácido húmico de tipo A se considera como una humificación más avanzada que el tipo B, y el tipo P es ácido húmico peculiar derivado de un cierto esclerocio. El ácido húmico de la mayoría de los suelos trumaos puede ser clasificado como tipo A, aunque diferenciándolo de los andosoles japoneses en que algunos suelos son de tipo B. Este último tipo de ácido húmico está limitado a los suelos de los distritos más meridionales (al sur de la latitud 40°S) y a los suelos ñadis. Una muestra de suelo trumao meridional tiene un valor RF excepcionalmente elevado (gráfica 2). Esta muestra fue recogida del subsuelo (profundidad 20-60 cm) de un suelo de Puyehue. El grado de humificación es completamente diferente en las capas superficiales y subsuperficiales de este suelo. Es muy probable que el subsuelo de este suelo sea un suelo de superficie enterrado.

La desecación parece ser la causa de que el suelo consuma fácilmente la materia orgánica descomponible así como el ácido fúlvico, y de la aceleración de la humificación del ácido húmico. Por consiguiente, el grado de humificación estaría relacionado con la fertilidad potencial de nitrógeno. Esta relación puede verse en la gráfica 3.

#### 4.3 CONCLUSIONES

Los suelos trumaos pueden ser clasificados en varios grupos según las características de la materia húmica. En primer lugar, los suelos están divididos en dos grupos según la proporción entre ácido húmico y ácido fúlvico - los suelos trumaos del norte y los del sur. El contenido de ácido húmico es mayor que el de ácido fúlvico en el primer grupo en tanto que en el segundo grupo ocurre lo contrario. El límite entre los dos grupos está alrededor de la latitud de 38°S que corresponde a la línea divisoria entre veranos secos y no secos.

En segundo lugar, el grado de humificación del ácido húmico de los suelos tiende a aumentar hacia el norte en tanto que el ácido húmico de los suelos trumaos de la latitud 40°S pertenece al tipo B, siendo diferente de los andosoles japoneses. El grado de humificación está relacionado con la fertilidad potencial de nitrógeno. Por tanto, el grado de humificación del ácido húmico sería un criterio válido para la clasificación o caracterización de los suelos trumaos.

La desecación en el verano parece hacer que los suelos consuman materia orgánica fácilmente descomponible y ácido fúlvico, y adelanten el proceso de humificación del ácido húmico. Por el contrario, el clima suave en los distritos meridionales retrasa la descomposición de la materia orgánica y la humificación del ácido húmico a la vez que eleva la fertilidad del potencial de nitrógeno.

Independientemente del clima, el proceso de humificación de los suelos ñadis parece ser diferente del de los suelos trumaos.

## Capítulo 5

### ALOFAN DE ALGUNOS SUELOS TRUMAOS

Según algunos trabajos de Besoain (1964, 1969a, 1969b), el principal componente mineral de la fracción arcilla de los suelos trumaos es indudablemente el alofán, aunque algunos suelos trumaos contienen una cantidad considerable de caolín incluso en la capa superficial (Besoain y García-Vicente, 1962).

Sin embargo, hay todavía algunos problemas que investigar sobre el alofán de los suelos trumaos. En primer lugar, aunque se dispone de una cantidad considerable de datos de análisis químicos de la fracciones arcilla de los suelos trumaos, la composición química de los alofanos de los suelos es todavía indistinta porque la mayoría de aquéllos se refieren a la totalidad de la arcilla de menos de 2 o 1,2 $\mu$  de diámetro, y que muy probablemente puede contener algunos minerales primarios así como minerales arcillosos cristalinos. En segundo lugar, la fracción alofánica de la arcilla de los suelos contiene generalmente algunos minerales cristalinos, pero no se dispone de información sobre el contenido y especie de los minerales cristalinos de la arcilla que aparezcan en tan pequeña cantidad que no puedan ser detectados sin separar el material amorfo.

En tercer lugar, existen pocos datos disponibles sobre las propiedades físico-químicas del alofán de los suelos trumaos.

Por tanto, puede decirse con seguridad que son pocos los conocimientos de las propiedades y cantidad de alofán de los suelos trumaos.

#### 5.1 MUESTRAS Y METODOS

Las muestras de suelos utilizadas en este estudio se tomaron de las series de suelos de Puyehue, Santa Bárbara y Mañil. Sus procedencias se indican en el cuadro 14, y la profundidad de la capa de donde se tomó la muestra se expone en el cuadro 16.

Las muestras de suelos se trataron completamente con peróxido de hidrógeno y después se lavaron con agua destilada y metanol. Después de secarlas al aire, se determinó la capacidad de intercambio catiónico por saturación con soluciones neutrales de acetato de N-Ca y acetato de N-NH<sub>4</sub>, separación de la sal excedente con agua destilada y metanol, y sustitución de los cationes retenidos con solución neutral de acetato N-Na, utilizando una centrifugadora.

Una porción de los suelos tratados con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fue tratada dos veces con citrato-bicarbonato-ditionito de sodio y una vez con una solución al 2 por ciento de carbonato de sodio de acuerdo con Jackson (1956). Estas muestras tratadas se utilizaron entonces para determinar el valor delta de la capacidad de intercambio de calcio, con la técnica de la centrifugadora y el método EDTA, y el material amorfo mediante disolución con 0,5N-NaOH (Hashimoto y Jackson, 1960). La cantidad de hierro extraída con ditionito fue determinada colorimétricamente.

## 5.2 RESULTADOS Y DISCUSION

La capacidad de intercambio catiónico del alofán depende grandemente de las especies de cationes utilizadas para la saturación (Wada y Harada, 1969). Independientemente de la ambigüedad respecto a la capacidad de intercambio de cationes del alofán, pueden utilizarse para detectar el alofán y sus características los valores relativos de las capacidades de intercambio de calcio y amonio (Aomine e Inoue, inédito). El cuadro 16 muestra las capacidades de intercambio de calcio y amonio de los suelos trumacos de tres series de suelos. Todas las muestras de suelos utilizadas en este experimento son alofánicas por naturaleza basadas en las características de la capacidad de intercambio de cationes, excepto una (M-38) cuyo mineral arcilloso dominante no es el alofán sino el caolín, según la característica térmica diferencial (Besoin, comunicación personal). Como no se dispone de información sobre la composición mineralógica de las muestras de suelos es imposible considerar los valores en detalle en este cuadro. Sin embargo, a condición de que los minerales cristalinos no hayan tomado una parte apreciable en la capacidad de intercambio de cationes, es digno de notar que la relación de la capacidad de intercambio de calcio y de  $\text{NH}_4$  del alofán, varía con las muestras de suelos, en términos generales, de Puyehue, a Santa Bárbara y a Mañil por orden de valores. Esta relación parece ser una característica de los materiales amorfos inorgánicos.

El valor delta de la capacidad de intercambio de calcio de las muestras figura en el cuadro 17. Este valor aumenta con la profundidad en los perfiles de Puyehue y Santa Bárbara, sugiriendo un aumento del alofán según la profundidad de dichos suelos. El valor de la muestra n° M-38 es muy bajo, indicando que hay poco alofán en este suelo.

El contenido de alofán de las muestras de suelos se calculó por dos procedimientos, el valor delta de la capacidad de intercambio de calcio y la disolución con 0,5N-NaOH. Los resultados obtenidos aparecen en el cuadro 18. Los valores conseguidos por los dos métodos coinciden entre sí dentro de un margen del 20 por ciento en la mayoría de las muestras.

El valor delta indicado en los cuadros 17 y 18 abarca el de los minerales cristalinos, si éstos existen en las muestras. Por consiguiente, según el valor de los minerales cristalinos, los datos pueden estar sobreestimados. Además, es muy probable que este valor varíe con las características de los alofanos, aunque el valor delta del alofán se ha supuesto aproximativamente que es 100.

El tratamiento con 0,5NaOH no solamente disuelve el material amorfo sino también algunos minerales cristalinos (Wada, comunicación personal). Por consecuencia, el contenido de alofán estimado por el método 0,5N-NaOH podría estar también calculado por exceso en algunas muestras.

Es digno de notarse que el tratamiento con peróxido de hidrógeno, citrato-bicarbonato-ditionito de sodio, y carbonato de sodio al dos por ciento no disolvió ninguna cantidad apreciable de materiales inorgánicos en algunas muestras de suelos, particularmente en las muestras de la capa más baja de Santa Bárbara (N°s S-11, S-13) independientemente del contenido de alofán. La estabilidad del alofán en estas muestras parece ser diferente de la del suelo de Puyehue y de los andosoles japoneses (Aomine y Jackson, 1958) y podría ejercer alguna influencia sobre la cantidad de materia disuelta con 0,5N-NaOH.

## 5.3 CONCLUSIONES

El alofán de los suelos trumacos puede determinarse cuantitativamente por medio del valor delta de la capacidad de intercambio de calcio y también por

el método de disolución con 0,5N-NaOH. Sin embargo, estos métodos necesitan todavía ser perfeccionados para poder determinar la cantidad de alofán con mayor exactitud.

El alofán tiende a aumentar con la profundidad en el suelo de Puyehue, pero no se ha observado una tendencia similar en los otros dos suelos.

El alofán de la capa más baja de Santa Bárbara es tan estable que no fue disuelto apreciablemente por los tratamientos con citrato-ditionito y con carbonato de sodio al dos por ciento. Este alofán podría ser físicamente y/o físico-químicamente diferente del alofán inestable corriente.

La relación de la capacidad de intercambio de calcio a la capacidad de intercambio de amonio puede ser utilizada para caracterizar el alofán y también para detectar materiales inorgánicos amorfos en el suelo.

## Capítulo 6

### GENESIS DE LOS SUELOS ÑADIS

Wright, (1963, 1965) y otros (p. ej.: Alcayaga, 1964, Díaz et al, 1958) han descrito los suelos ñadis: su morfología, clima, topografía, vegetación y algunas hipótesis acerca de su génesis, y Schaefer y sus colegas (1969a y b) han comunicado sobre la actividad microbiológica de los suelos. Sin embargo, la explicación de la formación de los suelos ñadis es todavía hipotética y vaga. La morfología de los suelos ñadis, particularmente su característico fierrillo, se parece a la morfología de los suelos arroceros poco profundos y bien avenados que descansan sobre una capa de grava.

#### 6.1 MATERIALES Y METODOS

Se tomaron muestras de suelos de un perfil a la longitud 72°50' 0 y latitud 40°36'S el día 15 de mayo de 1970. El suelo estaba cubierto de matorral natural y sus características morfológicas figuran en el cuadro 19.

El 30 de mayo de 1970 se colocaron en un vaso de precipitado de 100 ml alrededor de 70 g de una porción de muestras húmedas de cada horizonte. El suelo se mezcló con un exceso de agua, machacando el agregado de suelo con una varilla de vidrio. El vaso se mantuvo en una caja de cartón cubierta y se dejó en una habitación no calentada. Una vez a la semana se añadió agua destilada para mantener el suelo anegado. El potencial de oxidación-reducción de las muestras de suelo así incubadas se determinó por medio de un electrodo de platino y el pH con uno de cristal el 19 de agosto de 1970.

Se utilizaron muestras secadas al aire para análisis físicos, químicos y mineralógicos.

#### 6.2 RESULTADOS Y DISCUSION

En el cuadro 20 se exponen el pH, la materia orgánica y la composición mecánica de las muestras. Los pH de las muestras son apreciablemente más elevados que los valores comunicados hasta ahora por otros especialistas. Como el pH de los suelos ñadis fluctúa estacionalmente, no hay duda de que la diferencia entre los valores obtenidos en este estudio y los de otros autores es debida en parte al diferente momento de la toma de la muestra, aunque no se haga referencia a la fecha en que se tomó aquella en los documentos publicados. El cambio del pH por la inundación es evidente, y esto implicaría una característica importante en la formación de los suelos ñadis como se indica más adelante.

La composición mecánica y mineralógica revela que el perfil consta de tres diferentes materiales de partida: la capa superior (0-46 cm), la capa intermedia (46-72 cm) y la capa inferior (72-82 cm). La superior es abundante en fracciones

de arena fina (0,25-0,05 mm), tiene poca magnetita y minerales pesados y alrededor del 60 por ciento de los minerales ligeros son partículas de cristal coloreadas e incoloras. La capa intermedia tiene una abundante fracción limosa (0,05-0,002 mm) y la fracción arena tiene considerable magnetita y minerales pesados en comparación con las otras capas. Las partículas de cristal - en su mayoría incoloras - solo constituyen alrededor del diez por ciento de los minerales ligeros. La capa inferior contiene grava y es rica en arcilla, en tanto que en la fracción arena abundan las partículas gruesas y los minerales pesados. Las partículas de cristal son escasas (alrededor del cinco por ciento en los minerales ligeros).

A pesar de las probables diferencias en la naturaleza de los materiales de partida, existe una evidente tendencia en la composición química del perfil. La sílice disminuye con la profundidad, mientras que ocurre lo contrario en el contenido de alúmina, hierro y titanio. Hay un depósito de hierro evidente en la 6ª capa.

El contenido de arcilla es elevado en las capas inferiores, y la proporción de minerales pesados en la fracción arena es también alta en dichas capas. Pero, sin embargo, aún teniendo presentes estos hechos, es muy probable que la alúmina abunde en la fracción arcilla de la capa inferior.

En el suelo de la primera capa (A<sub>11</sub>) que fue incubado bajo agua a la temperatura ambiente durante el invierno, se observó gran cantidad de burbujas de gas, lo que indica una intensa descomposición de materia orgánica, y en la capa superficial del agua apareció un estrato oxidado, lo que sugiere un potencial extremadamente bajo de oxidación-reducción del suelo. Esta característica del suelo incubado concuerda con el valor Eh medido, como puede verse en el cuadro 23. Como la cantidad de coloides de hierro depositados en la capa superior del agua fue muy pequeña, hay evidentemente poco hierro reducible en el suelo de la primera capa, tal como lo indican los datos químicos (cuadro 22).

En la segunda capa A<sub>12</sub> se observaron algunas burbujas en la masa de suelo incubada, y no se observó capa de depósito de hierro. Hay dos formas posibles de explicar esta falta de depósito: primero, como resultado de un contenido extremadamente bajo de hierro reducible, y segundo, como resultado de un alto potencial de oxidación, independientemente de la descomposición de materia orgánica. El potencial de oxidación-reducción del cuadro 23 apoya el primer supuesto, aunque la descomposición de materia orgánica no fue tan intensa como en la primera capa y, por consiguiente, la reducción de hierro no fue tan abundante. Es notable que el pH de la muestra descienda independientemente del valor Eh. Esto sugiere que el suelo de esta capa tiene pocos materiales inorgánicos reducibles tales como óxidos férricos, óxido de manganeso, sulfato y nitrato, y a los 80 días después del anegamiento todavía subsistía una cantidad considerable de ácidos orgánicos debido a la baja temperatura.

En los suelos debajo de la segunda capa no se observaron burbujas ni depósitos de hierro, y el color del suelo no varió con el anegamiento.

Parece ser que son dos los procesos que entran en la génesis de la formación de los suelos ñadis - la formación de suelos arroceros y la podsolización. La capa superior se reduce evidentemente en el invierno debido a la abundante materia orgánica y a la inundación, pero la capa inferior se mantiene en una condición oxidada durante todo el año debido a la escasez de materia orgánica reducible. El hierro y el manganeso de la capa superior serían reducidos en invierno, aumentando su solubilidad. Si la solución de suelo de la capa superior se filtra y alcanza una capa oxidada, los materiales inorgánicos reducidos serán oxidados y depositados según el orden del potencial de oxidación debido a la disminución de la solubilidad. Cuando el potencial de oxidación-reducción de

la capa inferior no es suficiente para depositar el manganeso, se depositará el hierro solamente, formando una capa ferruginosa. Por el contrario, si la reducción de la capa superior no es bastante para reducir el hierro, sólo se puede formar un depósito de manganeso en la capa inferior. Es muy corriente observar una capa dura de concreción de hierro y manganeso en la parte superior de la capa de grava sobre la que descansan los suelos arroceros bien abonados y poco profundos.

La morfología del fierrillo muestra un parecido sorprendente con la capa dura de los suelos arroceros, y las observaciones realizadas sobre el terreno y en el laboratorio apoyan la idea de que el fierrillo se ha desarrollado por un mecanismo similar al de la capa dura de los suelos arroceros.

Parece que existe otro aspecto de la génesis de los suelos ñadis que difiere de la de los arroceros. Como los suelos arroceros se inundan en verano, los ácidos orgánicos se producen poco después de la inundación y se descomponen rápidamente. Como consecuencia, no se puede observar una acumulación de gran cantidad de ácidos. Por el contrario, los ácidos orgánicos parecen acumularse en los suelos ñadis en invierno, particularmente en la capa superficial, debido al alto contenido de materia orgánica y a la baja temperatura. Los ácidos son principalmente ácidos grasos, algunos de los cuales están dotados de acción quelante, por la cual el aluminio se mueve de las capas superiores a las inferiores, como en los podsoles.

### 6.3 CONCLUSIONES

La formación de suelos ñadis supone dos procesos - la formación de suelos arroceros y la podsolización.

La capa superior de los suelos se reduce en invierno debido a la abundante materia orgánica descomponible y a la inundación, y el hierro y el manganeso son reducidos aumentando así la solubilidad, en tanto que la capa inferior se mantiene en un estado oxidado durante todo el año debido a la pequeña cantidad de materia orgánica fácilmente descomponible. Como consecuencia, el hierro y el manganeso reducidos de la capa superior son oxidados y se depositan separadamente en la capa inferior según el valor de su potencial de oxidación, primero el hierro y luego el manganeso. Esta capa de depósito es el llamado fierrillo.

Los ácidos orgánicos se acumulan en la capa superior en el invierno, debido a la abundancia de materia orgánica, a la escasez de oxígeno y a las bajas temperaturas. Los ácidos, junto con los ácidos fúlvicos, determinan la podsolización.

## Capítulo 7

### MATERIA ORGANICA DE LOS SUELOS TRUMAOS

No cabe duda de que sería difícil aumentar la productividad de los suelos trumaos sin un adecuado manejo de la materia orgánica. Los suelos se distinguen por el predominio del alofán, que tiene una enorme superficie específica, es abundante en aluminio activo, y posee una carga electro-positiva al rango de pH predominante. El alofán es responsable de la extremada deficiencia de fosfato y, muy a menudo, como ocurre en los suelos de cenizas volcánicas, de calcio, magnesio y potasio. El aumento del contenido de materia orgánica constituye uno de los medios más prácticos para disminuir la capacidad excesivamente alta de fijación del fosfato que tienen estos suelos, así como también para añadir nutrientes. Las investigaciones preliminares realizadas en 1970, sugieren que los suelos trumaos del Sur (al sur del paralelo 38°) son ricos en materia orgánica de fácil descomposición, con un bajo grado de humificación, en comparación con los trumaos del Norte. El estudio de la materia orgánica parece constituir un requisito para la caracterización de los suelos trumaos. Como primer paso se han seleccionado dos temas de investigación.

#### 7.1 MATERIA HUMICA DE LOS SUELOS TRUMAOS DEL VALLE CENTRAL

El objeto de esta investigación es obtener una idea general de la naturaleza de la materia húmica de los suelos trumaos de Chile. Se han realizado estos estudios con muestras de suelos de 24 perfiles trumaos, junto con muestras de 9 perfiles rojo arcilloso que fueron seleccionados de la colección del Departamento de Agrología.

La materia húmica se extrajo con 0,1 N-NaOH y fue separada en ácido húmico y ácido fúlvico de acuerdo al método de Simon, modificado ligeramente por Kumada. Las cantidades de materia húmica total extraída y de ácidos húmico y fúlvico fueron determinados con 0,1 N  $KMnO_4$ , y la absorción a la luz de la fracción de ácido húmico fue medida a 400 y 600 m $\mu$ . Los contenidos totales de carbono y de nitrógeno fueron determinados por los métodos de combustión seca y de Kjeldahl, respectivamente. Esta labor ha estado a cargo de la Sra. Norma Klenner M. y la Srta. Eulogia San Martín.

Los resultados obtenidos hasta la fecha revelan diferencias en los tipos de ácidos entre los suelos trumaos de diferentes zonas climáticas, así como también diferencias en la razón de ácidos húmicos a fúlvicos entre los suelos trumaos y rojo arcilloso, sugiriendo que el análisis de materia orgánica por el método de Simon, modificado por Kumada (1967), puede tener valor para la caracterización de los suelos del Valle Central.

## 7.2 MATERIA ORGANICA DE LOS SUELOS DE LA ASOCIACION SANTA BARBARA

Los suelos de la Asociación Santa Bárbara, según su definición original, comprenden una extensa zona de la precordillera, desde el sur de Temuco hasta el norte de Chillán, abarcando de este modo regiones tanto con como sin veranos secos. La selección de los suelos de esta Asociación para este estudio estuvo motivada por las siguientes razones:

- 1) Aun cuando la Asociación aparece en zonas de topografía similar, se encuentra distribuída a través de zonas con marcadas diferencias climáticas, especialmente con respecto a las precipitaciones estivales. Esto podría tener efectos importantes sobre la formación del suelo, de tal modo que dentro de esta Asociación podrían encontrarse suelos con propiedades claramente diferentes.
- 2) La Asociación Santa Bárbara incluye suelos que se encuentran entre los suelos de cenizas volcánicas más típicos de Chile, habiendo sido afectados poco o nada por las glaciaciones.
- 3) Dado que los suelos ocupan una topografía ondulada, el contenido y las características de la materia orgánica pueden variar con la posición del perfil dentro del paisaje.

Las muestras de suelos fueron recolectadas de las partes superiores, intermedias e inferiores a las pendientes en siete praderas situadas entre  $39^{\circ}12'S$  a  $37^{\circ}06'S$ . De éstas, cuatro praderas no tienen estación seca y las otras tres tienen veranos secos. La materia orgánica de las muestras fue analizada por el mismo método mencionado anteriormente, y también se determinó la fertilidad potencial de nitrógeno de los suelos determinando el contenido de nitrógeno mineral de los suelos incubados.

Este trabajo fue realizado por el Sr. Costanzo Bernardi y la Srta. Eulogia San Martín V. Determinaron que los suelos Sta. Bárbara podrían clasificarse en dos grupos según las características de la materia húmica, a saber, los suelos del norte del río Malleco y aquéllos al sur de dicho río.

El límite entre los dos grupos se sitúa aproximadamente a  $38^{\circ}S$  de latitud.

Capítulo 8

## ABSORCION DE AGUA DE LOS SUELOS TRUMAOS

La deficiencia de humedad durante el verano constituye otro factor que limita la producción de cosechas en los suelos trumaos del Norte, que están situados en la región con veranos secos. Los experimentos sobre las propiedades de absorción de agua de estos suelos podrían adelantar dos finalidades: caracterización de los suelos y explicación de sus necesidades de manejo del agua.

El desecamiento tiene marcados efectos sobre las diversas propiedades de los suelos, tales como la descomposición de la materia orgánica, las características de la materia húmica, las propiedades de los coloides de suelos y micromorfología, lo que justifica ampliamente el estudio de sus efectos sobre las propiedades de los suelos.

Los experimentos de deshidratación y rehidratación utilizando muestras de suelos Santa Bárbara del Norte y de suelos Santa Bárbara del Norte y del Sur, han sido empezados por la Srta. Aida Gajardo G. y el Sr. Julio Crovetto.

Capítulo 9

## MINERALES PRIMARIOS DE LOS SUELOS TRUMAOS

El material de origen de los suelos trumaos del Valle Central de Chile podría tener diversos orígenes, no sólo horizontal, sino también verticalmente, teniendo como causa las cenizas provenientes de diferentes volcanes, influencia de glaciares, e inclusive de movimientos sísmicos en algunos distritos.

La investigación preliminar realizada por el consultor en 1970 sobre los suelos ñadi, sugiere que se podría tener información útil para distinguir el material de origen inclusive mediante una sencilla separación de las fracciones de arena en partículas magnéticas, livianas, pesadas y vítreas.

En primera instancia, el consultor ha sugerido los siguientes procedimientos de separación:

- 1) Minerales magnéticos mediante un imán;
- 2) Minerales pesados (con peso específico superior a 2,81) con bromoformo;
- 3) Minerales livianos (con peso específico inferior a 2,81) con bromoformo
  - a) Partículas vítreas mediante un microscopio de polarización,
  - b) Feldespato, cuarzo y cristobalita, por análisis por difracción de rayos X.

Este estudio será realizado por los señores Gastón Sepúlveda y Rodolfo Freres.

Capítulo 10

## VOLUMEN DE SEDIMENTACION DE LOS SUELOS EN EL AGUA

Las partículas alofánicas de suelos tienen tendencia a encogerse al secarse, y una vez encogidas no recuperan fácilmente su volumen original en el agua. El efecto del secado parece ser prácticamente irreversible. Si éste es el caso, un suelo que se haya secado mostrará un pequeño volumen específico de sedimentación, en comparación con uno no secado. Se realizó un ensayo preliminar sobre el volumen de sedimentación de suelos en agua. Se colocaron en duplicado muestras de cinco gramos de suelo húmedo en vasos de 30 ml y en discos Petri, respectivamente. Se agregó un ml de N-KCl y unos pocos ml de agua al vaso y se apisonó la tierra con un pequeño tapón de goma por algunos minutos y luego se transfirió a una probeta de 25 ml.

Se agitó vigorosamente la probeta y se dejó en reposo hasta que el suelo alcanzó un volumen de sedimentación constante. Las muestras en los discos Petri descubiertas fueron secadas al aire durante la noche, y luego se midió el volumen de sedimentación, en la forma señalada anteriormente.

Se determinaron los volúmenes de sedimentación en las muestras de dos perfiles de la Asociación Santa Bárbara provenientes de diferentes zonas. Uno de los sitios (N° 79) no está afectado por la sequía del verano y el otro sitio (N° 82) sí lo está. Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 24. Los volúmenes de sedimentación medidos dependen no solamente de las características de los suelos sino también de las diversas condiciones experimentales, tales como la relación entre suelo y agua, el tamaño de la probeta de medición, la cantidad de suelo utilizado, los tipos y cantidades de sales añadidos, etc. Por consiguiente, los datos sobre volumen de sedimentación expresados en cc/g, de los diferentes suelos indicados en el cuadro no son estrictamente comparables, debido a que los pesos en seco del suelo usado no eran idénticos. No obstante, los volúmenes de las muestras húmedas pueden compararse con los volúmenes de sus duplicados secados al aire, ya que el peso secado en un horno y las otras condiciones experimentales fueron idénticas para el par. Como se indica en el cuadro 24, las muestras de los horizontes inferiores del suelo meridional (N° 79) estaban fuertemente contraídas. Por otra parte, no se observó gran contracción hasta el quinto horizonte (90-119 cm de profundidad) en los suelos septentrionales (N° 82). Dado que el sexto horizonte (119-154 cm de profundidad) del suelo mostraba una disminución del volumen de sedimentación por el secado, no debe haber sufrido con la sequía estival en el campo. Por otra parte, los horizontes superficiales de ambos suelos no mostraron encogimiento por el secado y deben haber estado sujetos, por esto, a sequías periódicas en el campo.

Aunque el volumen de sedimentación de los suelos en agua requiere mayor experimentación para establecer un método de medición y poder explicar las implicancias de los volúmenes obtenidos, puede no obstante constituir una medición útil para la caracterización de algunos suelos, especialmente de los suelos trumaos del Valle Central.

Capítulo 11

## LA REACCION DE LA ASOCIACION SANTA BARBARA

El alofán del suelo es frecuentemente electro-positivo en las condiciones de pH predominante de andosoles, y esto se debe a su alto punto iso-eléctrico. La carga eléctrica de los coloides de los suelos rumaos debería depender del contenido y naturaleza de la fracción húmica, así como del alofán mismo. También, la carga debería estar relacionada con la absorción de cationes y aniones resultante del cambio de pH, con la adición de electrolitos.

El cuadro 25 muestra los valores del pH de la suspensión de suelos en H<sub>2</sub>O, N-KCl y 0,01N-Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Las muestras usadas en este experimento provenían de las variantes del Norte y Sur de la Asociación Santa Bárbara y de la Serie Curacautín, que tienen horizontes superiores muy oscuros y ricos en materia húmica.

Los suelos superficiales de la Asociación Santa Bárbara del Sur son fuertemente ácidos (pH 5,3-5,45) en suspensión en agua, en contraste con la reacción ligeramente ácida (pH 5,95-6,25) de los de Santa Bárbara del Norte y de Curacautín. También, los primeros muestran una alcalinidad de cambio con 0,01N-Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pero los últimos no la presentan. Esta diferencia de comportamiento de los dos grupos ante la solución diluída de sulfato de sodio se debería en su mayor parte a las diferencias en los valores de pH, y podría deberse parcialmente a las diferencias en las propiedades de la materia húmica y alofanos.

Siguiendo este trabajo preliminar, la señora Sadzawka estudió posteriormente la reacción del suelo de la Asociación Santa Bárbara, usando varias clases y concentraciones de electrolitos y suelos tanto húmedos como secos al aire.

Capítulo 12

## FLOCULACION DE LOS COLOIDES DEL SUELO

El alofán puede ser electro-positivo al pH predominante de los suelos trumaos, y la materia húmica es electro-negativa. Por consiguiente, los coloides de la superficie de los suelos trumaos, donde domina la materia húmica, debieran tener carga negativa, y aquéllos de las capas más profundas podrían ser electro-positivos, debido al predominio de alofán. Por consiguiente, es probable que la carga de los coloides del suelo cambie abruptamente de negativa a positiva a una cierta profundidad dentro del perfil trumao. Las cargas de los coloides de los suelos deben estar en relación no solamente con la absorción de cationes y aniones, sino también con el modo de absorción de moléculas orgánicas y, muy probablemente, con la actividad de los organismos del suelo.

El cuadro 26 indica los valores del pH de coloides de suelos dialisados, los valores de pH en los cuales se inició la floculación con HCl o NaOH, los valores de floculación de  $\text{CaCl}_2$  y  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y sus relaciones. Las suspensiones coloidales se prepararon dialisando los suelos húmedos y secos al aire con agua destilada, usando tubos de celofán. Los suelos de la superficie no se dispersaron apreciablemente, pero los suelos de los horizontes inferiores se dispersaron fácilmente, especialmente aquéllos secos al aire.

El pH final de los coloides dializados tiende a ser superior en los horizontes inferiores respecto a los superiores, y aumenta ligeramente con el secado al aire.

Los grupos hidróxilos de los coloides del suelo se disocian más fácilmente en los horizontes inferiores.

En los horizontes superiores es probable que su disociación sea estimulada por el secado al aire, o que la actividad de radicales ácidos tales como el carboxilo, hidróxilo fenólico, y el silanol podría ser alto pero susceptible de reducirse por secado al aire. El pH de floculación, que corresponde al punto iso-eléctrico, es alto en los horizontes inferiores; bajo en los suelos del Sur; alto en las muestras secadas al aire en comparación con el de los horizontes superiores; alto en los suelos del Norte y alto en las muestras húmedas. Estas agrupaciones corresponden a la distribución a los valores del pH de los coloides dialisados.

Los valores de floculación obtenidos sugieren que los coloides de los suelos húmedos eran electro-positivos y que cambiaron a electro-negativos por el secado al aire, a excepción del segundo horizonte del sitio N° 82 (suelo del Norte), que ya era electro-negativo con anterioridad al tratamiento de secado. Este resultado sugeriría una mayor influencia del secado al aire sobre el silanol de los coloides que sobre los hidróxilos, es decir, el aumento del valor del pH de los coloides dialisados y del pH de floculación por el secado al aire sería causado por la reducción de la liberación de protones de los silanoles del alofán.

### Capítulo 13

#### PROPOSICIONES SOBRE FUTUROS TRABAJOS DE INVESTIGACION

No cabe duda de que uno de los principales objetivos del Proyecto es determinar e interpretar la formación necesaria para aumentar la producción de los suelos del país. Mirado desde este ángulo, es preciso recolectar información de cada campo de especialidad de la pedología, y debe analizarse, sintetizarse, correlacionarse e interpretarse para lograr este objetivo.

Se requieren muchas cosas para elucidar las propiedades, morfología, génesis, clasificación, uso potencial y requerimientos de manejo de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile. Hablando en términos amplios, hay tres áreas principales de investigación en las cuales es preciso concentrarse en este momento. Estas son: caracterización del suelo (reconocimiento, descripción, análisis y clasificación), manejo de aguas (riego y drenaje) y fertilización.

#### 13.1 CARACTERIZACION DEL SUELO

- a) El material generador de los suelos derivados de cenizas volcánicas del Valle Central puede clasificarse, grosso modo, en materiales jóvenes y viejos de cenizas volcánicas, es decir, aquellos con arcillas alofánicas y haloisíticas, respectivamente. En algunas zonas estas cenizas pueden estar mezcladas entre sí y también con otros materiales tales como micaesquitos intemperizados, tobas andesita, etc. Cada una de estas combinaciones debería ser estudiada y clasificada con más detalle. Como estos materiales generadores varían, las propiedades de los suelos también deben variar. En especial, se puede encontrar una gran diferencia entre el grupo de suelos derivados de cenizas jóvenes y aquellos derivados de otros materiales, porque los primeros tienen en su mayor parte arcillas alofánicas y los últimos principalmente arcillas cristalinas.

Cada material generador forma perfiles de suelos separadamente en algunas zonas, pero en otras se traslapan unos con otros. Por ejemplo, ceniza volcánica joven, ceniza volcánica vieja, ceniza volcánica joven/ceniza volcánica vieja, ceniza volcánica joven/morrena vieja, ceniza volcánica joven/morrena joven, ceniza volcánica vieja/micaesquitos, etc. Estos materiales generadores pueden identificarse en el campo, en la mayoría de los casos, observando el estado de estratificación, color, estructura, etc. No obstante, los análisis mineralógicos de la fracción arcilla son muy útiles para este fin, así como para la caracterización del suelo. Entre los diversos métodos de análisis mineralógicos de arcilla, el análisis térmico diferencial en un gas inerte es, al parecer, el que merece ser recomendado más, especialmente para este fin. Tal método podría emplearse como un análisis rutinario, porque el alofán imogolita, gibsita y aloisita pueden ser determinados semi-cuantitativamente o inclusive cuantitativamente, utilizando

muestras no tratadas de suelos. Estos minerales son los constituyentes más importantes de la fracción arcilla de los suelos derivados de cenizas volcánicas. Es posible que aparezcan otros minerales arcillosos, pero probablemente sólo en cantidades mínimas.

- b) Las características más distintivas de los suelos de ceniza volcánica deben ser atribuidas probablemente a los alofanos. Por consiguiente, es esencial poseer un conocimiento de las propiedades y contenidos del alofán para comprender las propiedades de los suelos. Aun cuando se han propuesto varios métodos para determinar el contenido de alofán de un suelo, todos distan mucho de ser fidedignos. Sería muy conveniente descubrir un método analítico más preciso. No obstante, dando por sentado que los resultados que se obtienen en los métodos conocidos no son particularmente exactos, proporcionan sin embargo una información muy útil para evaluar las propiedades del suelo. Además de estimar cuantitativamente la composición, también debe investigarse la conducta química bio-química, físico-química y coloidal de las arcillas.
- c) Otra característica importante de los suelos de cenizas volcánicas es su tendencia a acumular grandes cantidades de materia orgánica de naturaleza característica. En general, la materia orgánica de estos suelos tiene una alta proporción de ácido húmico, un avanzado grado de humificación y es estable. Los resultados obtenidos hasta la fecha en el Departamento de Agrología, indican que los análisis de materia orgánica son útiles con propósito de caracterización. El método de Simon, modificado por Kumada (op. cit.), merece ser empleado en el trabajo rutinario de estos suelos. Este método podría aplicarse a otros grupos de suelos, tanto para caracterizarlos, como para descubrir las relaciones entre la materia orgánica y su productividad.
- d) Se ha acumulado una cantidad considerable de informaciones a partir de los análisis de las muestras de suelos recogidas por el Proyecto. Respecto a algunas propiedades, los datos ya son suficientes como para ser procesados estadísticamente. La relación entre el valor pH ( $H_2O$ ) y el grado de saturación de bases ha sido correlacionado en cerca de sesenta muestras de cada uno de los suelos trumacos y rojo arcillosos.

Los valores pH de los trumacos fueron distribuidos en un rango de 4,8 a 7,1 y el grado de saturación básica desde cerca de 5 al 40 por ciento. En general, el grado de saturación de bases tendía a aumentar con el valor del pH. Esta tendencia se muestra más claramente al dividir las muestras en dos grupos uno con alto y otro con bajo contenido de materia orgánica. El primer subgrupo tiene un pH considerablemente inferior en comparación con el último, a un mismo grado de saturación. Por ejemplo, el pH de los primeros suelos es cerca de 5,8 contra 6,6 de los últimos a 20 por ciento de saturación básica, sugiriendo la débil naturaleza absorbente del alofán.

Por otra parte, el pH y el grado de saturación básica de los suelos rojos arcillosos reside en un rango de alrededor de 5,2 a 6,6 y 5 a 80 por ciento, respectivamente, y no pudiendo descubrirse ninguna relación entre ambas propiedades. En el supuesto de que los datos sean correctos, se sugiere que los suelos rojos arcillosos podrían clasificarse en varios grupos que serían diferentes ya sea por composición mineralógica de los coloides o por la composición de las bases intercambiables. Deberían realizarse mayores investigaciones para resolver este problema.

- e) Aun cuando en el Departamento de Agrología ya se han iniciado algunos trabajos de investigación sobre suelos de cenizas volcánicas, deberían intensificarse en este sentido. Es esencial contar con mucha mayor información para mejorar la clasificación de estos suelos, así como para sugerir soluciones a los problemas de productividad que ellos presentan.

El autor ha notado que existen inconsistencias en el uso de nombres de suelos trumaos, rojos arcillosos y ñadis; por esto un mismo nombre de suelo suele usarse en forma diferente con distintas personas. Esto quizás se deba a la falta de suficientes publicaciones de los informes que describen las características de los suelos y sus variaciones. Por esto deberían publicarse más informes de esta naturaleza.

Ante la falta de definiciones publicadas por un organismo autorizado de correlación de suelos, es muy natural que los nombres de las series puedan ser usados muy diferentemente. Tal confusión no sólo origina incomprensiones, sino también hace más difícil el trabajo.

## 13.2 CONTROL DE LA HUMEDAD

- a) El riego de los suelos trumaos cumple muchos objetivos. Suministra el agua necesaria para el crecimiento de las plantas; mejora o reduce aquellas propiedades del suelo que tienden a reducir su productividad. Aun cuando la humedad a la capacidad de campo que tienen los andosoles es alta, la cantidad de agua disponible no es siempre grande en el volumen específico del suelo, porque el porcentaje de marchitez siempre es alto, y la densidad aparente es baja. Más aún, la evaporación del agua de estos suelos es muy rápida en comparación con otros suelos (C. Kamimura, comunicación personal). Esto sugiere que los suelos trumaos requieren riego no sólo en los distritos del Norte con veranos secos, sino también en los distritos del Sur, donde la estación seca es mucho menos pronunciada.

Con el fin de calcular la cantidad de agua de riego necesaria, deberían recolectarse datos experimentales respecto a un conjunto de propiedades tales como humedad a la capacidad de campo, porcentaje de marchitez, lixiviación, evaporación, transpiración, precipitación, etc. Se debería atender especialmente a lo siguiente:

- 1) Si la humedad a la capacidad de campo y el porcentaje de marchitez se miden en el laboratorio, deberían usarse muestras de suelos no secos, ya que algunos de los efectos del secado al aire tienden a modificar estas constantes de humedad en los suelos derivados de cenizas volcánicas.
- 2) Los valores  $pF$  correspondientes a estas constantes deberían ser considerablemente inferiores en comparación con otros suelos. Por consiguiente, se debería comprobar estas constantes en el terreno.
- 3) Más aún, se deben considerar la densidad aparente, la distribución del tamaño de poros y las propiedades de los coloides del suelo al evaluar los resultados obtenidos.

También los efectos del riego deben considerarse desde otros puntos de vista, es decir, sus efectos sobre el suministro de nutrientes minerales y de sílice, y la modificación del status de bases de los suelos. El agua de los ríos procedentes de zonas volcánicas generalmente tiene un contenido alto de K, Mg, Ca y Si. El riego con tal agua debería suministrar algunas cantidades de estos nutrientes y debería ser útil para disminuir la acción del aluminio de los coloides del suelo, especialmente con la sílice del agua. Por otra parte, algunas aguas de los ríos pueden ser fuertemente ácidas o alcalinas y contener iones tóxicos. Por los motivos anteriormente anotados, se recomienda un análisis del agua de riego.

- b) El drenaje es esencial para los suelos ñadi y probablemente también para algunos suelos trumacs con drenaje deficiente. Aun cuando el drenaje de lo suelos puede no estar incluido dentro del campo especializado de este informe, debe hacerse un breve comentario respecto al efecto de la capa cementada subyacente sobre el drenaje. Se ha intentado drenar los suelos ñadi dinamitando la capa cementada. Este tratamiento mejoró el drenaje por cinco años, pero después no tuvo efecto (Enrique Larre A., comunicación personal). Tal comportamiento podría explicarse por la presión negativa causada por la diferencia de fuerza capilar entre la capa superior de textura fina y la capa inferior de textura gruesa.

Por esta presión, los grandes capilares de la parte superior de la capa gruesa y de la parte inferior de la capa más fina, se verían obstruidos al ser arrastradas partículas pequeñas hacia el interior de ellos, o las partículas constituyentes de estas partes se verían arrastradas unas más cerca de las otras, formando una capa compacta. Si las pequeñas partículas de esta capa así formada son cenizas frescas, la capa estaría cementada con materiales coloides que se producen por la meteorización de las cenizas. Esto puede explicar en parte la formación de las capas cementadas de los suelos ñadi.

### 13.3 FERTILIZACION

La experiencia de los agricultores de Chile así como los numerosos datos experimentales recogidos indican el notable efecto de la fertilización sobre los rendimientos de los cultivos. La cantidad de fertilizantes a ser aplicada a los cultivos se está estimando mediante ensayos de terreno. No obstante, es imposible realizar ensayos sobre extensas zonas con diversos suelos y para muchos cultivos. Por consiguiente, los experimentos de terreno deberían realizarse sobre un número limitado de suelos y localidades, y proyectar los resultados. Por otra parte, la clasificación de suelos, la caracterización y los levantamientos pueden proporcionar información esencial para seleccionar los terrenos para ensayos. Los resultados de los ensayos de terreno pueden sugerir la necesidad de mayores investigaciones de laboratorio tendientes a caracterizar mejor los suelos. En este sentido, el Depto. de Agrología y las estaciones experimentales deberían mantenerse en estrecha cooperación, de lo contrario, no se podrá lograr una cabal utilización de la información obtenida mediante levantamientos, clasificación, y análisis laboriosos de las numerosas muestras de suelos, así como de los resultados obtenidos en los ensayos de terreno.

Se deberían terminar los trabajos de laboratorio con el fin de determinar los nutrientes, y las cantidades aproximadas de ellos, que se requiere aplicar a las cosechas. También se deberán realizar investigaciones sobre las propiedades de los suelos que tienen relación con la fertilidad de los mismos.

Cuadro 1

## NUESTRAS DE SUELOS

Suelo número	Nombre del suelo	Longitud O	Latitud S	Fecha de la toma de muestra - mayo	Descripción
1	Trumao Arrayán	72°05'	36°48'	12	Negro LiC*, a 25 cm de la superficie, húmedo, en barbecho después de la cosecha de trigo, llanura plana.
2	Trumao Santa Bárbara	71°55'	36°46'	12	Muy oscuro grisáceo pardo LiC, de cumbre de colina, a 60 cm de la superficie, húmedo, pasto natural muy pobre.
3	Trumao Santa Bárbara	72°15'	38°40'	13	Muy oscuro grisáceo pardo LiC, ladera baja de colina, estructura granular bien desarrollada, pasto.
4	Trumao Freire	72°40'	38°55'	14	Muy oscuro grisáceo pardo SiC, llanura plana, pasto, buena vegetación, nivel freático bastante alto.
5	Trumao Coypue	72°25'	39°05'	14	Muy oscuro grisáceo pardo LiC, cumbre de colina, estructura granular bien desarrollada, pasto natural, vegetación bastante pobre.
6	Ñadi	72°50'	40°36'	15	Negro LiC, llanura plana, matorral natural, estructura granular bien desarrollada.
7	Trumao Puyehue	72°40'	40°45'	15	Gris muy oscuro LiC, cerca de la cima de la colina, estructura granular muy desarrollada, pasto, vegetación moderada, abundantes gusanos.
8	Trumao Futrono	72°25'	40°05'	15	Pardo grisáceo muy oscuro SiC, pasto, buen desarrollo de vegetación, fertilizado con nitrógeno.

\* LiC: arcilla clara, según el sistema internacional de denominación de la textura.

SiC: arcilla limosa, según el sistema internacional de denominación de la textura.

Cuadro 2

## CONTENIDO DE NITRÓGENO, CARBONO Y HUMEDAD, Y pH DE LAS MUESTRAS FRESCAS DE SUELOS

Suelo No	Humedad %	pH		Total C 1/ %	Total N %	C/N	Nitrógeno mineral			Día de extracción después de la toma de la muestra
		H <sub>2</sub> O	KCl				NH <sub>4</sub> -N ppm	NO <sub>3</sub> -N 2/ ppm	Suma ppm	
1	57	6,5	5,4	9,6	0,74	13,0	10(19)	4(3)	14(22)	5
2	60	5,9	5,2	8,9	0,64	13,9	8(10)	2(tr)	10(10)	5
3	68	6,0	5,0	10,5	0,75	14,0	12(21)	tr(tr)	12(21)	4
4	81	5,7	5,0	12,1	0,81	14,9	14(27)	tr(tr)	14(27)	3
5	72	5,6	5,3	10,6	0,73	14,5	tr(20)	4(1)	4(21)	3
6	99	5,6	4,7	14,9	1,03	14,4	10(29)	1(tr)	11(29)	2
7	93	5,9	4,9	13,9	0,95	14,6	8(30)	2(tr)	10(30)	2
8	54	6,0	5,3	10,5	0,74	14,2	3(22)	15(1)	18(23)	2

Base: secado en estufa.

1/ Analista: Fernando Freitas.

2/ Incluye el nitrógeno como nitrito.

Las cifras entre paréntesis corresponden a las muestras con tolueno.

Cuadro 3

## NITROGENO MINERAL DE LAS MUESTRAS DE SUELOS HUMEDAS DESPUES DE LA INCUBACION

Suelo No	Al principio			10 días			21 días			35 días			48 días			Aumento ppm	Mineralización %
	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	1/ Suma	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	1/ Suma	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	1/ Suma	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	1/ Suma	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	1/ Suma		
	ppm	ppm	ppm														
1	10	4	14	11	39	50	tr	64	64	2	76	78	tr	91	91	77	1,04
2	8	2	10	9	18	27	tr	29	29	tr	33	33	tr	37	37	26	0,40
3	12	tr	12	13	43	56	4	77	77	tr	110	110	tr	123	123	109	1,45
4	14	tr	14	17	29	46	tr	62	62	tr	99	99	tr	108	108	93	1,14
5	tr	4	4	13	17	30	tr	38	38	tr	68	68	tr	77	77	73	1,00
6	10	1	11	43	12	55	80	98	98	93	56	149	tr	165	165	154	1,49
7	8	2	10	35	6	41	54	54	54	83	38	121	113	29	29	133	1,40
8	3	15	18	6	58	64	tr	78	78	tr	128	128	tr	150	150	132	1,78

Base: secado en estufa.

1/ Includo el nitrito

## Cuadro 4

NITROGENO MINERAL DE LAS MUESTRAS DE SUELOS INCUBADAS DESPUES DE SECADAS AL AIRE

Suelo No	Al principio			7 dfas			21 dfas			34 dfas			Aumento 2/	Mineralización
	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	1/ Suma	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	1/ Suma	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	1/ Suma	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	1/ Suma		
	ppm	ppm	ppm											
1	13	21	34	12	83	95	5	108	113	tr	131	131	117	1,58
2	13	8	21	14	24	38	tr	43	43	tr	52	52	41	0,64
3	21	13	34	47	44	91	tr	127	127	tr	162	162	140	1,97
4	26	5	31	96	35	131	85	75	160	37	158	195	180	2,22
5	8	tr	8	48	25	73	23	83	106	tr	134	134	130	1,78
6	39	tr	39	333	5	338	428	12	440	506	38	544	533	5,17
7	32	tr	32	175	9	184	227	26	253	247	61	308	299	3,14
8	16	32	48	69	72	141	tr	188	188	tr	222	222	204	2,75

Base: secado en estufa.

1/ Includo el nitrito.

2/ Includo el aumento por desecación al aire.

Cuadro 5

TEMPERATURA, PRECIPITACION Y HUMEDAD EN LOS LUGARES DONDE SE TOMARON LAS MUESTRAS 1/

Suelo N°	Temperatura media			Precipitación		Humedad - Enero
	Anual	Enero	Julio	Anual	Verano	
	°C	°C	°C	mm	mm	%
1	14,8	21,8	9,5	1 100	68	45
2	14,7	21,6	9,5	1 200	85	50
3	12,6	18,0	8,5	1 750	200	52
4	12,2	17,3	8,4	1 600	140	54
5	12,2	17,5	8,3	2 100	210	55
6	11,3	17,0	7,6	1 600	150	70
7	11,3	16,7	7,6	1 750	210	73
8	11,5	16,9	7,6	2 250	200	76

1/ Recopilación de datos climáticos de Chile y mapas sinópticos respectivos, Ministerio de Agricultura, Santiago de Chile, 1958

Cuadro 6

VOLUMEN DE SEDIMENTACION DE SUELOS EN AGUA

Suelo N°	Suelo húmedo	Suelo secado al aire	Húmedo secado al aire
	cc/g	cc/g	
1	2,00	2,03	0,98
2	1,91	1,94	0,98
3	2,17	2,05	1,05
4	2,29	2,05	1,11
5	2,24	2,05	1,09
6	2,70	2,30	1,17
7	2,61	2,21	1,18
8	2,00	1,90	1,05

Base: secado en estufa

Cuadro 7

## RECUPERACION DE NITROGENO AMONICO AÑADIDO A LOS SUELOS

Suelo No	NH <sub>4</sub> añadido ppm	Al principio				5 dfas				12 dfas				28 dfas			
		NH <sub>4</sub> ppm	NO <sub>3</sub> ppm	1/Suma ppm	Dif. ppm	NH <sub>4</sub> ppm	NO <sub>3</sub> ppm	1/Suma ppm	Dif. ppm	NH <sub>4</sub> ppm	NO <sub>3</sub> ppm	1/Suma ppm	Dif. ppm	NH <sub>4</sub> ppm	NO <sub>3</sub> ppm	1/Suma ppm	Dif. ppm
7	0	7	1	8	-	15	5	20	-	56	6	62	108	23	131	-	
	105	109	(1)110	102	120	18	138	118	143	23	166	104	177	46	223	92	
	211	212	(1)213	205	216	22	238	227	227	34	261	199	258	62	320	189	
	421	411	(1)412	404	431	39	470	450	400	46	446	384	462	81	543	412	
8	261 <u>2/</u>	259	(1)260	252	306	12	318	298	343	8	351	289	385	23	408	277	
	0	8	17	-	9	32	41	-	tr	62	62	-	6	118	124	-	
	83	88	(17)105	80	50	70	120	79	6	141	147	85	6	198	204	80	
	165	165	(17)182	157	129	83	212	171	70	153	223	161	6	283	289	165	
	330	315	(17)332	307	287	109	396	355	203	183	386	323	35	413	448	314	
	205 <u>2/</u>	196	(17)213	188	185	61	247	206	159	119	278	215	18	311	329	205	

Base: secado en estufa.

1/ Includido el nitrato.

2/ Cloruro amónico, otros fosfatos diamónicos.

Las cifras entre paréntesis son valores supuestos.

Cuadro 8

## EFECTO DE LOS FOSFATOS Y CLORURO SODICO SOBRE LA MINERALIZACION DEL NITROGENO ORGANICO

Suelo N°		Sal	6 días			
			NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Suma	Diferencia
		mg 1/	ppm	ppm	ppm	ppm
7	-	0	38	9	47	-
	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	15,6	42	7	49	2
		31,2	51	6	57	10
	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	35,8	37	9	46	-1
		71,6	49	9	58	11
	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	38,0	45	9	54	7
		76,0	49	11	60	13
8	NaCl	5,8	54	6	60	13
		11,6	57	3	60	13
	-	0	5	62	67	-
	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	15,6	9	65	74	7
		31,2	tr	69	69	2
	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	35,8	4	65	69	2
		71,6	1	75	76	9
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	38,0	1	71	72	5	
	76,0	1	80	81	14	
NaCl	5,8	tr	62	62	-5	
	11,7	5	65	70	3	

Base, secado en estufa.

Al principio los suelos N°s 7 y 8 contenían NH<sub>4</sub>-N 5 y 2, NO<sub>3</sub>-N 9 y 35 ppm, respectivamente.

1/ Cantidad de sales añadidas a 50 g de suelo húmedo correspondiente a 0,1 y 0,2 milimoles.

Cuadro 9

## EFECTO DEL SUPERFOSFATO TRIPLE SOBRE LA MINERALIZACION DEL NITROGENO ORGANICO DEL SUELO

Suelo N°	Superfosfato 1/	6 días				14 días			
		NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Suma	Diferencia	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Suma	Diferencia
	mg	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
7	0	35	15	50	-	60	22	82	-
	50	40	15	55	5	57	19	76	-6
	100	45	15	60	10	57	19	76	-6
	500	56	15	71	21	76	22	98	16
8	0	tr	60	60	-	tr	84	84	-
	50	1	72	73	13	tr	89	89	5
	100	2	71	73	13	tr	84	84	0
	500	10	77	87	27	2	102	104	20

Base, secado en estufa.

Al principio las muestras de suelos N<sup>os</sup> 7 y 8 contenían NH<sub>4</sub>-N 5 y 2, NO<sub>3</sub>-N 9 y 35 ppm, respectivamente.

1/ El superfosfato triple comercial se trituró y se pasó a través de un tamiz de 18 mallas. Las cifras son la cantidad de superfosfato añadido a 20 g de suelos húmedos.

Cuadro 10

## EFECTO DEL CARBONATO CALCICO, EL SULFATO MAGNESICO Y EL SULFATO POTASICO SOBRE LA NITRIFICACION EN EL SUELO DE PUYEHUE (N° 7)

	Sal	11 días				21 días				pH	
		NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Suma	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Suma	NO <sub>3</sub> -N	H <sub>2</sub> O	KCl
-	g 1/	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%		
	0	41	17	58	29	76	15	91	16	5,7	4,9
CaCO <sub>3</sub>	0,5	57	45	102	44	107	63	170	37	7,1	6,5
	2,5	113	65	178	37	221	100	321	31	8,0	7,5
MgSO <sub>4</sub>	0,1	50	21	71	30	80	24	104	23	5,6	5,0
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,1	55	22	77	29	87	23	110	20	5,6	5,0
CaCO <sub>3</sub>	0,5										
MgSO <sub>4</sub>	0,1	72	52	124	42	113	79	192	41	6,9	6,5
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,1										

Base, secado en estufa.

El suelo contenía al principio NH<sub>4</sub>-N 5 y NO<sub>3</sub>-N 9 ppm.

1/ La cantidad de compuesto químico añadido a 50 g de suelo húmedo.

Cuadro 11

## EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE LA NITRIFICACION

Suelo número	Humedad	13 días			
		NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Suma	NO <sub>3</sub> -N
	%	ppm	ppm	ppm	%
7	65	79	28	107	26
	79	72	23	95	24
	100 <u>1/</u>	69	22	91	24
	120	69	26	95	27
	140	58	35	93	38
	37	7	85	92	92
8	44	tr	93	93	100
	58 <u>1/</u>	tr	95	95	100
	73	tr	101	101	100
	89	tr	101	101	100

Base, secado en estufa.

1/ Contenido de humedad original.

Cuadro 12

## CONTENIDOS DE HUMEDAD DE LOS SUELOS HUMEDOS Y SECADOS AL AIRE

a pF 1,5, 2,5 y 4,2

Suelo número	Suelo húmedo			Suelo secado al aire		
	pF 1,5	pF 2,5	pF 4,2	pF 1,5	pF 2,5	pF 4,2
	%	%	%	%	%	%
7	105	89	66	96	84	63
8	66	56	34	73	56	38

Base, secado en estufa.

Determinado por Julio Crovetto.

Cuadro 13

## DENITRIFICACION DE LOS SUELOS AL CABO DE 4 DIAS

Suelo número	NO <sub>3</sub> -N añadido <u>1/</u>	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Suma	Recuperación
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
7	0	38	0	9	47	-
	277	54	6	264	324	277
8	0	9	0	55	64	-
	214	17	0	252	269	205

Base, secado en estufa.

1/ KNO<sub>3</sub>.

Se añadieron 20 miligramos de KNO<sub>3</sub> a 20 g de suelos húmedos (Nos 7 y 8) con contenidos de humedad de 101 y 57 por ciento respectivamente, calculados sobre la base de secado en estufa.

Cuadro 14

## MUESTRAS DE SUELOS

Suelo número	Suelo	Profundidad cm	Longitud O	Latitud S	Precipitación		Temperatura media	
					anual	verano	anual	enero
					mm	mm	°C	°C
S-8	Trumao	0-13	72°4'	37°42'	1700	100	13.8	20.7
S-9	Santa Bárbara	13-20						
M-33	Trumao	3-0	72°8'	37°36'	1600	95	13.9	21.0
M-34	Mañil	0-23						
P-1	Trumao	0-20	72°40'	40°45'	1750	210	11.3	16.7
P-2	Puyehue	20-60						
N-1	Ñadi	0-22	72°50'	40°36'	1600	150	11.3	17.0
N-3		22-56						
N-5		64-72						

Cuadro 15

## CARACTERISTICAS DE LA MATERIA HUMICA DE LOS SUELOS TRUMAOS Y ÑADIS

Suelo número	T-C	TE-C	TE-C	Extracto de NaOH					Extracto de $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$		
				E-C	F-C	PQ	$\Delta \log K$	RF	E-C	F-C	PQ
	mg/g	mg/g	%	ml/g	ml/g				ml/g	ml/g	
1	96	54	56	120	58	51	0,517	119	8	7	12
2	89	54	61	117	56	52	0,570	112	9	6	33
3	105	62	59	130	80	38	0,570	85	13	8	38
4	121	70	58	130	100	23	0,574	96	11	8	28
5	106	57	53	121	76	37	0,612	81	10	7	30
6	149	85	57	190	93	51	0,577	76	9	8	11
7	139	78	56	160	97	39	0,583	76	21	15	29
8	105	57	54	124	76	38	0,662	69	8	7	12
S-8	90	52	58	117	51	56	0,574	104	7	4	42
S-9	78	49	63	107	54	49	0,564	104	7	4	42
M-33	96	56	58	133	59	55	0,544	100	11	4	63
M-34	70	47	69	105	47	55	0,478	132	6	2	66
P-1	113	60	53	127	88	30	0,566	80	11	11	0
P-2	84	43	51	92	56	39	0,518	121	7	6	14
N-1	171	101	59	225	120	46	0,599	64	12	8	33
N-3	94	60	64	128	85	33	0,572	72	10	8	20
N-5	74	52	70	105	85	19	0,565	68	14	12	14

Base, secado en estufa.

T-C : carbono total determinado por Fernando Freitas por el método de combustión seca.

TE-C: carbono total extraído que fue estimado por la cantidad de  $0,1\text{N-KMnO}_4$  consumida por ambos extractos, suponiendo que el carbono del ácido húmico es  $0,4 \text{ mg/ml}$  y el carbono del ácido fúlvico  $0,45 \text{ mg/ml}$ .

E-C : carbono total extraído (cantidad de  $0,1\text{N-KMnO}_4$ )

F-C : carbono del ácido fúlvico extraído (cantidad de  $0,1\text{N-KMnO}_4$ )

RF : calculado por el método de Kumada, es decir, que la absorción de la luz de la solución de ácido húmico a  $600 \mu$  se dividió por ml de  $0,1\text{N-KMnO}_4$  consumidos por  $30 \text{ ml}$  de la misma solución y se multiplicó por  $1000$ .

PQ : porcentaje de carbono de ácido húmico extraído a carbono total extraído.

logK: resto de las absorciones de luz de la solución de ácido húmico a  $600 \mu$  y  $400 \mu$ .

Cuadro 16

CAPACIDADES DE INTERCAMBIO DE AMONIO Y DE CALCIO  
DE LOS SUELOS TRUMADOS QUE FUERON TRATADOS CON PEROXIDO DE  
HIDROGENO

Series	N°	Profundidad	Capacidad de intercambio		
			Ca	NH <sub>4</sub>	Ca/NH <sub>4</sub>
		cm	me/100g	me/100g	
Puyehue	P-1	0-20	20,5	5,8	3,53
	P-2	20-60	22,1	6,6	3,34
	P-3	60-90	26,3	6,5	4,04
	P-4	90-	29,3	7,4	3,94
Santa Bárbara	S-8	0-13	24,9	9,1	2,93
	S-9	13-20	24,5	8,0	3,06
	S-11	39-65	28,1	11,1	2,53
	S-13	110-157	22,5	13,2	1,70
Mañil	M-33	3-0	19,2	7,5	2,56
	M-34	0-23	20,7	7,4	2,79
	M-36	23-65	18,7	7,7	2,42
	M-38	106-138	17,0	14,9	1,14

Base, secado en estufa.

Cuadro 17

VALOR DELTA DE LOS SUELOS TRUMADOS TRATADOS CON PEROXIDO DE HIDROGENO, CITRATO-BICARBONATO-DITIONITO DE SODIO, Y CARBONATO DE SODIO AL 2 POR CIENTO

Suelo número	2% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> me/100g	Na-acetato pH 3,5 me/100g	Valor delta me/100g
P-1	54	12	42
P-2	60	13	47
P-3	75	17	58
P-4	86	19	67
S-8	58	17	41
S-9	59	17	42
S-11	70	19	51
S-13	79	26	53
M-33	34	12	22
M-34	39	12	27
M-36	32	11	21
M-38	21	14	7

Base, secado en estufa.

Cuadro 18

## CONTENIDO DE ALOFAN DE LOS SUELOS TRUMAOS

Suelo número	Materia orgánica	Limonita disuelta	Materia inorgánica disuelta	Residuo	Valor delta	Alofán			A/B
	%	%	%	%	%	0,5N-NaOH	(A)	(B)	
						%	%	%	
P-1	19,5	2,5	14,6	63,4	26,6	28,2	41,2	42,8	0,96
P-2	14,5	5,0	10,8	69,7	32,7	31,2	43,5	42,0	1,03
P-3	12,7	5,1	20,0	62,2	36,1	28,9	56,1	48,9	1,14
P-4	8,0	6,4	21,1	64,5	43,2	31,4	64,3	52,5	1,22
S-8	15,4	4,8	8,7	71,1	29,0	30,7	37,7	39,4	0,95
S-9	13,4	5,2	12,4	69,0	29,0	36,0	41,2	48,4	0,85
S-11	5,0	5,7	0,1	89,2	45,7	38,8	45,8	38,9	1,17
S-13	2,2	5,5	-1,5	93,8	49,7	44,4	48,2	42,9	1,12
M-33	16,5	3,1	-0,7	81,1	17,8	16,0	17,1	15,3	1,11
M-34	12,0	3,7	-1,4	85,7	23,1	17,7	21,7	16,3	1,33
M-36	4,7	1,7	0	93,6	19,6	22,0	19,6	22,0	0,89
M-38	0,8	2,2	1,0	96,0	6,7	15,1	7,7	16,1	0,47

Base, secado en estufa.

Materia disuelta y residuo: por tratamientos con peróxido de hidrógeno, dos veces con citrato-bicarbonato-ditionito de sodio, y con carbonato de sodio al 2 por ciento.

Materia orgánica:  $C \times 1,724$  del cual el carbono fue determinado por Fernando Freitas por el método de combustión seca.

Limonita: el  $Fe_2O_3$  extraído fue dividido por 0,85.

Materia inorgánica disuelta: (pérdida total de peso por los tratamientos) - (materia orgánica + limonita).

Alofán (A): (materia inorgánica disuelta) + (alofán según el valor delta).

Alofán (B): (materia inorgánica disuelta) + (alofán según 0,5N-NaOH).

Cuadro 19

## MORFOLOGIA DE LA MUESTRA DE SUELO NADI

N-1	A <sub>1</sub>	0-22cm	Negro (10YR2/1) CL, tapiz radical muy desarrollado, friable, buena estructura granular.
N-2	A <sub>3</sub>	22-46cm	Negro (10YR2/1) LiC, friable, buena estructura granular.
N-3	B <sub>1</sub>	46-56cm	Pardo oscuro (7.5YR3/2) LiC, estructura firme y bien desarrollada en bloques, canales radicales pálidos.
N-4	B <sub>21</sub>	56-64cm	Pardo oscuro (7.5YR4/4) LiC, estructura prismática bien desarrollada, con canales radicales.
N-5	B <sub>22</sub>	64-72cm	Pardo oscuro (7.5YR4/4) LiC, estructura prismática firme con canales radicales pálidos.
N-6	B <sub>g</sub>	72-82cm	Pardo fuerte (7.5YR5/6) LiC con piedra pequeña, considerable depósito de hierro pardo amarillento.
Fierrillo		82cm	Capa ferruginosa delgada ondulada seguida inmediatamente por un depósito negro de manganeso.

Cuadro 20

## MATERIA ORGANICA, COMPOSICION MECANICA Y pH DE LAS MUESTRAS DE SUELOS NADIS

Suelo número	pH del		Total C 1/	Total N	C/N	Composición mecánica 1/			
	suelo H <sub>2</sub> O	fresco KCl				2-0,25 mm	0,25-0,05mm	0,05-0,002mm	0,002-mm
			%	%		%	%	%	%
N-1	6,0	4,9	17,1	1,18	14,5	2,3	21,0	55,5	21,2
N-2	5,8	5,0	10,2	0,79	12,9	2,2	16,5	52,7	28,6
N-3	5,9	5,2	9,4	0,78	12,1	1,9	8,1	62,5	27,5
N-4	6,0	5,3	7,4	0,58	12,8	4,1	6,7	57,2	32,0
N-5	6,0	5,3	7,4	0,61	12,1	4,4	7,4	57,0	31,2
N-6	5,9	5,8	4,4	0,34	12,9	6,1	6,1	50,4	37,4

Base, secado en estufa.

1/ El carbono total y la composición mecánica fueron analizados por Fernando Freitas por el método de combustión seca y por Aída Gajardo G. por el método de la pipeta.

Cuadro 21

COMPOSICION MINERALOGICA DE LAS FRACCIONES DE  
ARENA DE LOS SUELOS NADIS

Suelo número	No pasa por el tamiz de 60 mallas	Pasa por el tamiz de 60 mallas pero no por el de 140			Pasa el tamiz de 140 mallas
		Magnético	Pesado 1/	Ligero 2/	
	%	%	%	%	%
N-1	8,6	1,4	2,2	32,6(60) 2/	55,2
N-2	10,8	1,4	5,4	22,2(60)	60,2
N-3	19,3	3,0	12,2	21,6(10)	43,9
N-4	36,4	2,1	17,4	16,3(10)	27,7
N-5	36,4	3,6	14,7	18,5(13)	26,6
N-6	49,2	1,8	9,3	21,0(5)	18,6

1/ Mineral pesado: gravedad específica superior a 2,81.  
Mineral ligero: gravedad específica inferior a 2,81.

2/ Las cifras entre paréntesis son porcentajes de las partículas de cristal en la fracción de mineral ligero.

Cuadro 22

COMPOSICION QUIMICA DE LA TIERRA FINA DE LAS  
MUESTRAS DE SUELOS NADIS

Suelo número	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	MnO %	Pérdida a la ignición %	Materia org. 1/ %	Relación molecular	
								$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3}$
N-1	44,23	11,83	3,96	1,35	tr	34,34	29,48	6,36	0,21
N-2	45,03	18,71	4,34	2,20	0,03	25,61	17,58	4,08	0,15
N-3	39,10	24,71	4,84	2,41	tr	26,50	16,20	2,69	0,12
N-4	35,84	24,90	7,04	2,49	tr	26,99	12,76	2,45	0,18
N-5	37,36	26,82	6,47	2,67	tr	24,06	12,76	2,37	0,15
N-6	30,89	25,70	17,50	2,91	0,01	21,33	7,59	2,04	0,44

Base, secado en estufa. Analista: Horacio Urzúa H.

1/ C x 1 724 del cual el carbono fue determinado por Fernando Freitas por el método de combustión seca.

Cuadro 23

POTENCIALES DE OXIDACION-REDUCCION DE LAS  
MUESTRAS DE SUELOS INCUBADOS

Suelo número	pH (H <sub>2</sub> O)		Eh el 19 de agosto	
	mayo 30	agosto 19	30 min.	9 horas
			volt	volt
N-11 <sup>1/</sup>	6,0	5,75	0,17	-0,05
N-12 <sup>1/</sup>	6,0	5,0	0,27	0,05
N-2	5,9	5,55	0,36	0,15
N-3	6,0	5,7	0,35	0,18
N-4	5,9	5,7	0,40	0,27
N-5	5,9	5,65	0,55	0,32
N-6	5,9	5,6	0,56	0,41

<sup>1/</sup> N-11 y N-12 corresponden a los horizontes A<sub>11</sub> y A<sub>12</sub>, respectivamente.

Cuadro 24

VOLUMEN DE SEDIMENTACION DE LOS SUELOS EN AGUA

Sitio	Suelo		Suelo usado	Suelo húmedo (M)	Suelo secado al aire (A)	M A
	Profundidad					
	cm		g	cc/g	cc/g	
79	0-18		3,1	2,3	2,4	0,96
	18-46		3,0	2,5	2,4	1,04
	46-66		2,4	3,8	2,5	1,52
	66-102		2,4	3,7	2,8	1,32
82	0-19		3,2	2,2	2,2	1,00
	19-39		2,9	2,6	2,6	1,00
	39-61		2,6	3,3	2,9	1,13
	61-90		2,5	3,5	2,9	1,20
	90-119		2,8	2,8	2,7	1,03
	119-154		2,2	4,3	3,2	1,34

El sitio N° 79 está situado a 72°15'0 y 38°57'S y el N° 82 a 72°13'0 y 38°04'S.

Base, secado en estufa.

Cuadro 25

## REACCIONES DE LOS SUELOS TRUMAOS RECIEN MUESTREADOS

Suelo		pH(H <sub>2</sub> O)	pH(N-KCl)	pH(0,01N-Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
Sitio	Profundidad			
	cm			
		Santa Bárbara Sur		
77	0-4	5,30	5,10	5,75
	0-18	5,45	5,15	5,70
	18-46	5,90	5,65	6,35
79	46-66	6,00	5,75	6,50
	66-102	6,00	5,90	6,30
	102-140	6,15	5,65	6,40
		Santa Bárbara Norte		
83	0-17	6,25	5,25	5,90
	0-19	5,95	5,00	5,90
	19-39	6,10	5,80	6,50
82	39-61	5,85	6,00	6,45
	61-90	5,90	6,00	6,40
	90-119	5,85	5,35	6,30
	119-154	6,25	5,25	5,90
		Curacautín		
81	0-22	6,03	4,97	5,65
	22-40	6,00	4,95	5,60

Sitio N° 77: 72°26'0, 39°12'S.

Sitio N° 79: 72°15'0, 38°57'S.

Sitio N° 81: 71°55'0, 38°26'S.

Sitio N° 82: 72°13'0, 38°04'S.

Sitio N° 83: 71°53'0, 37°11'S.

Cuadro 26

## EFECTO DEL SECADO AL AIRE SOBRE LA FLOCULACION DE LOS COLOIDES DEL SUELO

Suelo		Coloide dialisado	Floculación	Valor de la floculación		
Sitio	Profundidad			CaCl <sub>2</sub> (C)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (A)	C/A
	cm	pH	pH	m.mol/1	m.mol/1	
Muestras húmedas						
	0-18		nd			
79*	18-46	5,80	6,1 (5,8-6,4)**	1,0	0,2	5,0
	66-102	5,82	6,3 (6,1-6,5)	1,5	0,15	10,0
	0-19		nd			
82*	19-39	5,70	6,6 (6,3-6,8)	0,2	0,75	0,26
	39-61	5,95	6,7 (6,6-6,9)	1,7	0,37	4,6
Muestras secadas al aire						
	0-18		nd			
79	18-46		nd			
	66-102	5,85	7,5 (7,0-8,1)	0,2	0,4	0,50
	0-19		nd			
82	19-39	5,97	7,1 (6,5-7,7)	0,2	0,75	0,26
	39-61	6,05	7,7 (7,5-8,0)	1,5	7,5	0,20

nd: La dispersión de los coloides del suelo fue muy poca.

\* : Los sitios Nos. 79 y 82 pertenecen a Santa Bárbara Sur y Norte, respectivamente.

\*\* : No hubo floculación en la primera cifra del paréntesis, pero sí la hubo en la segunda cifra.

Apéndice

## BIBLIOGRAFIA

- Alcayaga, C.S. Características generales de los suelos de ñadis, Sociedad Agronómica de Chile, Pub. Esp. 1, pp. 1-13.  
1964
- Alcayaga, A.U., Martín, E.S. y Schäffer, R. La actividad metabólica de algunos grupos fisiológicos de microbios en suelos ñadis de Chile. 1. Mineralización de C y N orgánicos en condiciones de laboratorio, Agricultura Técnica, 29, pp. 145-160.  
1969
- Alonso, J., Besoain, M.E. y Catalina, F. Observations de microscope electronique en argiles volcaniques de Chili et allophane de la Nouvelle Zelande, Intern. Clay Conf. 1. London, Pergamon Press, London, pp. 167-173.  
1963
- Aomine, S. y Jackson, M.L. Allophane determination in ando soils by cation-exchange capacity delta value. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 23, pp. 210-214.  
1959
- Aomine, S. Suelos volcánicos, Proyecto de Estudios y reconocimiento de los Suelos Chilenos, PNUD/FE/113/CHI/AGL, pp. 63.  
1970
- Bernier, V.R.L. Características hídricas de ocho suelos de la provincia de Nuble, Univ. Concepción, Escuela Agr. Dept. Suelos, Cir. Inform. 13.  
1966
- Besoain, M.E. y García-Vicente, J. Clay mineralogy of some volcanic ash soils of Chile. Neues Jb. Miner. Abhandl. 98, pp. 349-366.  
1962

- Bescain, M.E. Clay formation in some Chilean soils derived from volcanic materials, New Zealand Jour. Sci. 7, 1964 pp. 79-86.
- Bescain, M.E., Serratosa, J.M. e Hidalgo A. Espectros de absorción infrarroja de la fracción arcilla de suelos volcánicos de Chile, Anal. Edafol. Agrobid. 23, pp. 293-303.
- Bescain, M.E. Volcanic-ash soils of Chile, Meeting on the classification and correlation of soils from volcanic-ash, FAO Rep. No. 14, pp. 92-93.
- Bescain, M.E. Imogolite in volcanic soils of Chile, 1968-69 Geoderma, 2, pp. 151-169.
- Bescain, M.E. Mineralogía de las arcillas de suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile, Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, B-1, Costa Rica.
- Bescain, M.E. Untersuchungen von Böden aus Pyroklastiten (Asche und Tuffe) Chiles, Japans, Deutschlands und Italiens, Inaugural Dissertation, Institut für Bodenkunde der Universität Bonn.
- Black, C.A. Methods of soil analysis, part 2, Amer. Soc. Agron. Madison, pp. 1191-1200 1356-1360.
- Clarke R.M. y Winkler A. de Clarke Lechería intensiva y manejo de las praderas para lograrlo, Asociación de Agricultores "Dr. Bertram Kalt".
- Díaz, V.C., Alcayaga, C.S., Avilés, S.C., Aranda, B.G., Ascui, M.P., Bescain, M.E., Funes, R.M., Narbona, G.M., Pesce, P.D. y Mella, L.R. Estudio sobre habilitación de los Radis, o suelos húmedos, del Departamento de Puerto Varas (1954), Agricultura Técnica, 18, pp. 412-486.

- Espinoza, G.W. Antecedentes bibliográficos del alofán y su detección rápida en los suelos de Nuble, Univ. Concepción, Escuela Agr. Dept. Suelos, Cir. Inform. 23. 1968
- Espinoza, G.W. Caracterización química de dos suelos volcánicos de la provincia de Nuble: Arrayán y Santa Bárbara, I. Un método de dispersión de suelos de origen volcánico de Nuble, Agricultura Técnica 29, pp. 34-39. 1969a
- Espinoza, G.W. ditto II. Determinación de alofán en suelos volcánicos de Nuble mediante disolución diferencial, Agr. Tec. 29, pp. 40-43. 1969b
- Espinoza, G.W. Determinación de alofán en suelos de Nuble mediante el valor delta de la capacidad total de intercambio catiónico, Univ. Concepción, Escuela Agr. Dept. Suelos, Cir. Inform. 27. 1969c
- Hashimoto, I. y Jackson, M.L. Rapid dissolution of allophane and kaolinite-halloysite after dehydration, Clays and clay minerals, Proc. 7th Conf., Pergamon Press, Nueva York, pp. 102-113. 1960
- Jackson, M.L. Soil chemical analysis - Advanced course, Madison, Wis. 1956
- Kumada, L., Sato, O., Ohsumi, Y., y Ohta, S. Humus composition of mountain soils in central Japan with special reference to the distribution of P type humic acid, Soil Science and Plant Nutrition, 13, pp. 151-158. 1967
- León, L. Clay formation in some Chileans soils under natural forest vegetation and under pasture, Trans. Comms. IV & V, Intern. Soc. Soil Sci. (Conf. N.Z.), pp. 39-44. 1962

- Letelier, A.E. Respuesta a la fertilización de los suelos volcánicos chilenos (trumaos), según resultados de ensayos de campo, Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, Costa Rica. 1969
- Schaeffer, R., Urbina, A. de Alcayaga y Martín, E.S. Microbial activities as a mechanism of ecosystem regulation in the hydromorphic volcanic ash soils of Southern Chile, Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, Costa Rica, B.6. 1969
- Schenkel, S.G. Factores que afectan a la determinación de la fijación de fósforo en algunos suelos chilenos, Univ. Concepción, Escuela Agr. Dept. Suelos, Cir. Inform. 15. 1967
- Schenkel, G. Problemas de la acidez en suelos chilenos derivados de cenizas volcánicas, Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, Costa Rica, B.9. 1969
- Urbina, A. de Alcayaga Relaciones entre algunas características físicas y químicas de suelos derivados de cenizas volcánicas, Agricultura Técnica, 25, pp. 9-18. 1965
- Valdés, F.A. Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile, Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas en América Latina, 6-13 julio, Costa Rica, A.1. 1969
- Volke, H.V. Análisis químicos de muestras de suelos de Osorno y Llanquihue, Soc. Agr. Chile, Pub. Esp. No. 1, pp. 67-84. 1964
- Wada, K. y Harada, Y. Effects of salt concentration and cation species on the measured cation-exchange capacity of soils and clays, Proc. Intern. Clay Conf. 1, pp. 561-571. 1969

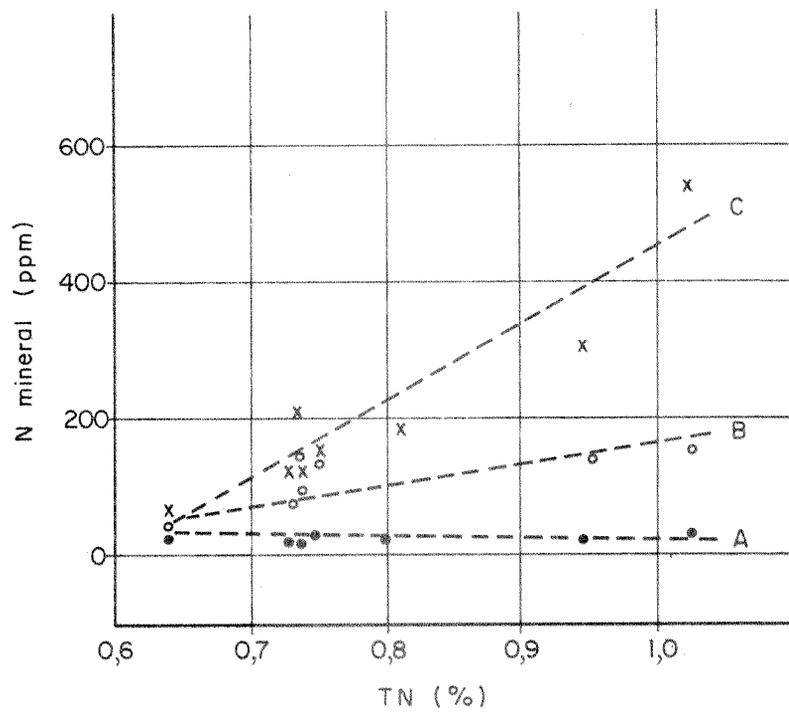
Wright, A.C.S. y Mella, A. Modifications to the soil pattern of south-central Chile resulting from seismic and associated phenomena during the period May to August 1960, Bull. Seis. Soc. Amer., 53, pp. 1367-1402.

Wright, A.C.S. Los suelos de cenizas volcánicas de Chile, Informe de la FAO, n° 2017, Roma, pp. 1-98.

Wright, A.C.S. y Alcayaga, S. The ñadis-soil of Chile, FAO Inter-branch Report, Santiago, pp. 1-16.

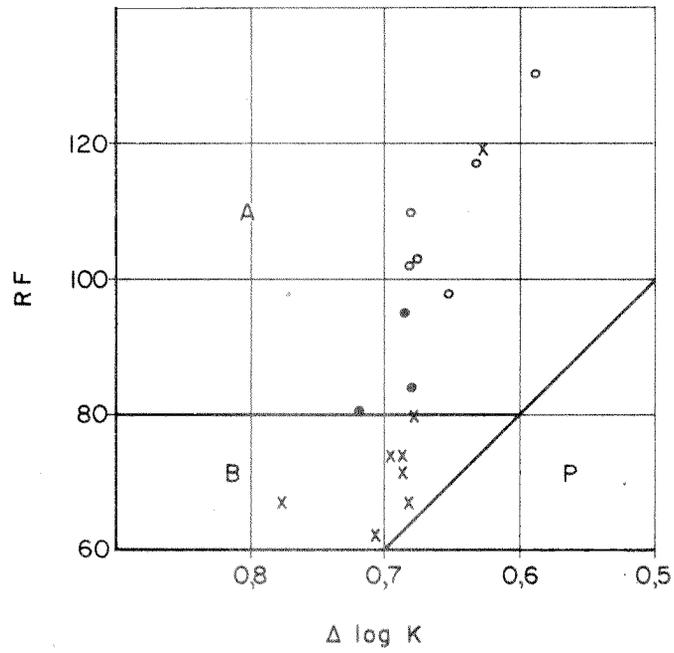
Zambrano, D.L. Intercambio catiónico de algunos grandes grupos de suelos chilenos, Soc. Agr. Chile, Pub. Esp. No. 1, pp. 85-94.

## - FERTILIDAD POTENCIAL DE NITRÓGENO -



- Suelo fresco .
- Suelo húmedo , incubado .
- x Suelo secado al aire , incubado .

## - TIPO DE ÁCIDO HÚMICO -



- Norte de 38° S
- Entre 38° S y 40° S
- x Sur de 40° S

RELACIÓN ENTRE LA MINERALIZACIÓN DEL NITRÓGENO ORGÁNICO  
DEL SUELO Y EL TIPO DE ÁCIDO HÚMICO

