

# ALUMINIO ACTIVO Y HIERRO EN SUELOS VOLCANICOS<sup>1</sup>

## Active aluminium and iron in volcanic soils

Angélica Sadzawka R.<sup>2</sup> y Lissette Porte O.<sup>2</sup>

### SUMMARY

Forms of active Al and Fe, in 70 samples of volcanic ash soils, were estimated by selective dissolution analysis, using KCl 1N, sodium pyrophosphate 0.1M, dithionite—citrate—bicarbonate, and acid oxalate 0.2M as reagents.

Total active Al increased with soil development and was chiefly constituted by Al bound to humus, in surface horizons, and by Al in allophane and imogolite, in B horizons. Valuable amounts of exchangeable Al were detected only in organic matter rich horizons and in crystalline minerals prevailing horizons.

Amounts of total extracted Fe were lower than total active Al, except in crystalline horizons, and were mainly composed by Fe bound to humus in surface horizons, and by inorganic amorphous Fe compounds, in deeper horizons. Large amounts of crystalline iron oxides were found only in the most developed soils.

Maximum concentrations of non—crystalline and para—crystalline aluminosilicates (allophane, allophane—like compounds and imogolite) ranged from 2 to 24<sup>o</sup>o, in less than 2 mm soil fractions. Calculated Al/Si mole ratios were near to 1.0, when non—crystalline and para—crystalline aluminosilicate amounts were low, but they increased to around 2.5, with the highest amounts of these compounds.

### INTRODUCCION

Los suelos derivados de cenizas volcánicas se caracterizan por poseer constituyentes anfotéricos, que pueden desarrollar carga variable, en respuesta a cambios en la concentración iónica de la solución del suelo.

La química de la superficie de los constituyentes con carga variable está controlada, principalmente, por las reacciones de los grupos Al—OH y Fe—OH expuestos (Parfitt, 1980); por lo tanto, las propiedades de estos suelos pueden definirse en términos del Al activo y Fe (Wada y Gunjigake, 1979; Wada, 1980).

El Al activo se encuentra en: 1. aluminosilicatos no—cristalinos y para—cristalinos, tales como alofán, para—alofán e imogolita; 2. iones Al—OH en intergrados 2:1 y 2:1:1; 3. complejos Al—humus, en los cuales los iones hidroxil—Al están unidos a grupos carboxilatos; y 4. Al intercambiable en los filosilicatos 2:1 y 1:1 (Wada, 1980). El Fe se encuentra en: 1. complejos de Fe—humus; 2. óxidos de Fe no cristalinos y cristalinos; y 3. aluminosilicatos no cristalinos (Wada y Gunjigake, 1979). El objetivo de este estudio fue obtener información sobre las diferentes formas de Al activo y Fe, presentes en suelos chilenos derivados de cenizas volcánicas.

### MATERIALES Y METODOS

Se seleccionaron 70 muestras, correspondientes a 12 perfiles de suelos derivados de cenizas volcánicas y ubicados en las provincias de Valdivia, Osorno y Llanquihue. Los perfiles fueron muestreados por especialistas del ICOMAND (International Committee on the

<sup>1</sup> Recepción de originales: 14 de noviembre de 1984.

Estudio perteneciente al Proyecto "Suelos volcánicos", MINAGRI—INIA. Parte de este trabajo fue presentado en el IV Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo, Valdivia, 1984

<sup>2</sup> Estación Experimental La Platina (INIA), Casilla 5427, Santiago, Chile.

Classification of Andisols), para la VI Reunión Internacional de Clasificación de Suelos, realizada en Valdivia, en enero de 1984.

Las diferentes formas de Al activo y Fe se extrajeron con KCl 1N, pirofosfato de sodio 0,1M, ditionito—citrato—bicarbonato (Soil Survey Staff, 1972) y oxalato de amonio ácido (Blakemore, 1983). El contenido de Al y Fe en los extractos, se determinó por espectrofotometría de absorción atómica, usando llama de N<sub>2</sub>O—acetileno y de aire—acetileno, respectivamente. Además, se analizó Si en los extractos de oxalato por colorimetría (Fey y Le Roux, 1975). El carbono orgánico se determinó por digestión con dicromato ácido y posterior titulación potenciométrica automática (Soil Survey Staff, 1982). El pH (H<sub>2</sub>O) y el pH (KCl) fue medido en una suspensión en agua y en KCl 1N, respectivamente, en una relación suelo:solución de 1:2,5. El pH (NaF) se determinó a los 2 min de suspender la muestra en NaF 1M, en la proporción de 1g y 50 ml.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los reactivos, usados para extraer las diferentes formas de Al activo y Fe, tienen características específicas de disolución. El KCl extrae el Al intercambiable. El pirofosfato extrae, fundamentalmente, Al y Fe unidos al humus (McKeague, Brydon y Miles, 1971; Wada y Gunjigake, 1979; Childs, Parfitt y Lee, 1983). El ditionito—citrato—bicarbonato (DCB) extrae Al y Fe unidos al humus, Al del para—alofán y Fe de los óxidos de hierro no cristalinos (Wada y Gunjigake, 1979). El oxalato ácido extrae Al y Fe unidos al humus, Al del para—alofán, Fe de los óxidos de hierro no cristalinos y Al y Fe del alofán y de la imogolita (Higashi e Ikeda, 1974; Fey y Le Roux, 1975 y 1977; Wada, 1977; Wada y Gunjigake, 1979; Parfitt y Henmi, 1982). Además, el oxalato ácido extrae Si del para—alofán, alofán e imogolita (Wada, 1977).

De acuerdo con las características de disolución indicadas para los reactivos usados, se pueden estimar las cantidades de Al y Fe de los diferentes componentes del suelo, según el Cuadro 1. Además, en este cuadro se indica la manera de estimar el contenido global de para—alofán, alofán e imogolita, basada en el método propuesta por Parfitt (1983), para alofán e imogolita y que considera un contenido de 14% de Si del alofán.

### Suelos de la Provincia de Osorno

Estos suelos están localizados en un transecto este—oeste, que ilustra el paso desde suelos muy jóvenes (Antillanca), ubicados al pie del volcán, hacia los suelos más evolucionados (Osorno), del Llano Central. Junto con la elevación, a lo largo del transecto va disminuyendo la pluviosidad (Cuadro 2).

Los contenidos de Al activo total (Al ox) son bajos en el suelo Antillanca y van aumentando en el orden Antillanca < Chanleufú < Puerto Fonck < Osorno. En los dos últimos horizontes del suelo Osorno, predominan los minerales cristalinos, por lo que el Al activo total baja considerablemente, comparado con los horizontes superiores. El pH (NaF) es una medida indirecta del contenido de Al activo, lo que se ve reflejado en un valor inferior a 8,0, cuando el Al activo es menor de 0,20 mmoles/g.

El Al unido al humus (Al piro) constituye la fracción mayoritaria del Al activo total en los horizontes superficiales y, al igual que el Fe unido al humus (Fe piro), disminuye marcadamente con la profundidad. Wada y Gunjigake (1979) sugieren que el paralelo que existe entre carbono orgánico y Al piro y Fe piro, indica que la mayor parte del Al y Fe, derivados de la meteorización de la ceniza volcánica, forma complejos con el humus, cuando el suministro de materia orgánica es abundante y, por lo tanto, se inhibe o retarda la formación de alofán, imogolita y para—alofán. Sin embar-

**CUADRO 1. Estimación de las diferentes formas de Al activo y Fe y el contenido global de para—alofán, alofán e imogolita del suelo. (Adaptado de Parfitt, 1983)**

**TABLE 1. Valuation of the amounts of different forms of active Al and Fe, and total contents of allophane like compounds, allophane and imogolite of the soil**

Al intercambiable	Al KCl
Al humus	Al piro
Al para—alofán	Al DCB – Al piro
Al alofán, imogolita	Al ox – Al DCB
Si para—alofán, alofán, imogolita	Si ox
Al/Si para—alofán, alofán, imogolita	(Al ox – Al piro)/Si ox
Contenido para—alofán, alofán, imogolita %	$[(Si\ ox \times 2,8)/14] \times 100$
Fe humus	Fe piro
Fe no cristalino inorgánico	Fe ox – Fe piro
Fe óxidos cristalinos	Fe DCB – Fe ox

**CUADRO 2. Características generales y análisis de disolución selectiva de los suelos de la Provincia de Osorno****TABLE 2. General characteristics and selective dissolution analysis of the Osorno Province soils**

Suelo (elevación) pluviosidad	Profundidad cm	Horizonte	C o/o	pH			Al KCl (meq/ 100 g)	mmoles/g										Al ox— Al piro/ Si ox	Alófán* o/o
				H <sub>2</sub> O	KCl	NaF		Al piro	Al DCB— Al piro	Al ox— Al DCB	Al ox	Fe piro	Fe ox— Fe piro	Fe DCB— Fe ox	Fe DCB	Si ox			
Antillanca (1.050 m)	0— 6	A	10,4	5,4	4,4	9,8	1,1	0,21	0,00	0,08	0,29	0,08	0,06	0,00	0,14	0,08	1,0	2	
	6— 20	E	1,3	6,2	5,1	9,8	0,0	0,12	0,00	0,18	0,30	0,02	0,09	0,00	0,11	0,15	1,2	3	
	20— 78	C1	0,3	5,9	4,9	7,3	0,1	0,04	0,00	0,15	0,19	0,00	0,09	0,00	0,09	0,14	1,1	3	
	78—147	C2	0,05	6,9	6,2	7,6	0,0	0,04	0,00	0,12	0,16	0,00	0,10	0,00	0,10	0,16	0,8	3	
	147—217	CS	0,02	6,8	6,1	7,4	0,0	0,04	0,00	0,11	0,15	0,00	0,10	0,00	0,10	0,15	0,7	3	
Chanleufú (800 m)	0— 22	A	8,3	5,3	4,5	10,3	0,8	0,31	0,00	0,22	0,53	0,12	0,09	0,00	0,21	0,14	1,6	3	
	22— 46	E	4,4	5,0	4,7	11,3	0,4	0,37	0,03	0,13	0,53	0,12	0,10	0,00	0,22	0,10	1,6	2	
	46— 58	C1	2,0	5,5	5,1	11,1	0,1	0,23	0,04	0,22	0,49	0,02	0,07	0,00	0,09	0,16	1,6	3	
	58— 74	C2	3,2	6,1	5,9	11,0	0,0	0,23	0,10	0,73	1,06	0,03	0,25	0,00	0,28	0,47	1,8	9	
Puyehue (550 m)	0— 32	A	10,9	5,1	4,5	11,2	1,7	0,55	0,08	0,15	0,78	0,27	0,00	0,00	0,27	0,14	1,6	3	
	32— 63	BA	7,2	5,8	5,2	11,4	0,1	0,57	0,12	0,94	1,63	0,25	0,18	0,00	0,43	0,54	2,0	11	
	63—112	Bs1	5,5	6,1	5,6	11,2	0,0	0,43	0,20	1,10	1,73	0,20	0,30	0,00	0,50	0,64	2,0	13	
	112—162	Bs2	6,0	6,1	5,8	11,1	0,0	0,34	0,46	1,78	2,58	0,07	0,52	0,06	0,65	0,95	2,4	19	
	162—200	BCs	4,3	6,6	6,1	10,8	0,0	0,23	0,44	1,74	2,41	0,02	0,62	0,00	0,64	0,96	2,3	19	
Puerto Fonck (200 m)	0— 17	A	9,7	5,4	4,8	10,7	0,2	0,55	0,03	0,52	1,10	0,14	0,18	0,00	0,32	0,36	1,5	7	
	17— 48	E	5,2	6,3	5,4	10,8	0,0	0,37	0,15	0,78	0,30	0,07	0,28	0,00	0,35	0,55	1,7	11	
	48— 97	EB	7,4	6,3	5,6	11,1	0,0	0,40	0,26	1,06	1,72	0,13	0,25	0,10	0,48	0,70	1,9	14	
	97—130	Bs	6,9	6,2	5,7	10,9	0,0	0,33	0,41	1,71	2,45	0,06	0,44	0,08	0,58	0,94	2,3	19	
	130—157	C1	6,2	6,1	5,8	10,7	0,0	0,27	0,51	1,89	2,67	0,05	0,49	0,12	0,66	0,92	2,6	18	
	157—210	C2	6,6	6,3	5,7	10,7	0,0	0,30	0,10	3,14	0,04	0,51			0,91	3,1			
Osorno (80 m)	0— 26	Ae	9,6	5,0	4,5	10,8	0,9	0,46	0,37	0,88	1,51	0,16	0,12	0,22	0,50	0,48	2,2	10	
	26— 56	Bw	3,7	6,4	5,6	10,7	0,0	0,30	0,64	1,77	2,71	0,03	0,28	0,53	0,84	1,03	2,3	21	
	56— 88	Bs	2,8	6,5	5,8	10,5	0,0	0,22	0,81	1,81	2,84	0,01	0,21	0,77	0,99	1,10	2,4	22	
	88— 94	2Ba	0,6	6,5	5,2	9,8	0,1	0,09	0,26	1,07	1,42	0,00	0,19	0,22	0,41	0,74	1,8	15	
	94—149	2C1	0,1	4,4	3,0	7,8	2,2	0,07	0,00	0,10	0,17	0,04	0,19	0,02	0,25	0,10	1,0	2	
	149—190	3C2	0,01	5,4	3,7	7,5	0,2	0,02	0,01	0,03	0,06	0,01	0,07	0,00	0,08	0,04	1,0	1	

\* Incluye: para—alofán e imogolita.

go, en el horizonte superficial del suelo Antillanca, que es un suelo muy joven y con abundante contenido de materia orgánica, se detectó la presencia de imogolita (Wada y Kakuto, 1984), lo que indicaría que la imogolita se forma en las primeras etapas de la meteorización, aun cuando exista una gran cantidad de materia orgánica.

El Al de los componentes para—alofánicos (Al DCB—Al piro) está ausente en el suelo Antillanca, empieza a detectarse en el suelo Chanleufú y va aumentando con la evolución de los suelos. El Al de alofán e imogolita (Al ox — Al DCB) es bajo en el suelo Antillanca y muestra una tendencia similar al Al del para—alofán, con el desarrollo del suelo. Los contenidos de Al DCB — Al piro y Al ox — Al DCB aumentan con la profundidad, lo que indica que los productos de la meteorización de la ceniza volcánica, en los horizontes subsuperficiales, son para—alofán, alofán e imogolita. Wada y Kakuto (1984) observaron, por microscopía electrónica, la presencia de imogolita en todos los suelos de este transecto.

El Al intercambiable (Al KCl) se encuentra en cantidades apreciables solamente en los horizontes altos en materia orgánica y en los horizontes con predominio de minerales cristalinos (2C1 y 3C2, del suelo Osorno). Los valores del pH (H<sub>2</sub>O) y del pH (KCl) de los horizontes en que se detecta Al intercambiable son, en general, menores que 5,5 y 5,0, respectivamente.

El Fe total extraído (Fe DCB) es menor que el Al activo total y está constituido principalmente por Fe unido al humus (Fe piro), en los horizontes superficiales, y por Fe no cristalino inorgánico (Fe ox — Fe piro), en los horizontes más profundos. Solamente en los suelos más evolucionados, Puerto Fonck y Osorno, se encuentran cantidades considerables de óxidos cristalinos de hierro.

Los contenidos de aluminosilicatos no—cristalinos y para—cristalinos (para—alofán, alofán e imogolita), estimados en base al Si ox, muestran tendencias similares a la del Al presente en estos componentes, lo cual corrobora la utilidad del método empleado. La razón molar Al/Si es cercana a 1,0 en el suelo Antillanca, que tiene muy poca cantidad de alofán, y va aumentando a medida que se incrementa el contenido de alofán de los suelos.

#### Suelos de la Provincia de Llanquihue

Los perfiles seleccionados están ubicados de norte a sur, a los costados de la Carretera Panamericana, y presentan características similares de elevación y pluviosidad (Cuadro 3).

Estos suelos contienen mayor cantidad de carbono orgánico que los de la Provincia de Osorno, lo cual se ve reflejado en un mayor contenido de Al unido al humus (Al piro). Sin embargo, el Fe unido al humus (Fe

**CUADRO 3. Características generales y análisis de disolución selectiva de los suelos de la Provincia de Llanquihue**  
**TABLE 3. General characteristics and selective dissolution analysis of the Llanquihue Province soils**

Suelo (elevación) pluviocidad	Profundidad cm	Horizonte	C %	pH			Al KCl (meq/100 g)	Al piro	Al DCB - Al piro	Al ox - Al DCB	Al ox	Fe piro	Fe ox - Fe piro	Fe DCB - Fe ox	Fe DCB	Si ox	Al ox - Al piro / Si ox	Alófán* %
				H <sub>2</sub> O	KCl	NaF												
Frutillar (140 m) 170 cm	0-17	A	19,3	5,6	4,5	11,2	1,0	0,75	0,23	0,36	1,34	0,16	0,00	0,11	0,27	0,30	2,0	6
	17-24	E	8,3	5,4	5,0	11,4	0,2	0,52	0,98	1,63	3,13	0,10	0,05	0,51	0,66	1,05	2,5	21
	24-38	Bs1	5,2	5,8	5,5	11,2	0,1	0,48	0,94	1,11	2,53	0,07	0,06	0,90	1,03	0,90	2,3	18
	38-57	Bs2	3,6	6,0	5,7	10,8	0,1	0,28	0,37	1,50	2,65	0,02	0,09	0,69	0,50	1,02	2,3	20
	57-64	Bs3	3,0	6,0	5,9	10,8	0,1	0,26	0,30	1,46	2,62	0,02	0,20	1,10	1,32	1,08	2,2	22
	64-72	2Bsm	0,6	6,2	5,8	10,3	0,1	0,13	0,24	1,34	1,71	0,01	0,23	0,09	0,33	0,83	1,9	17
	72-90	2Cqm	0,2	6,1	5,7	9,9	0,0	0,11	0,08	1,07	1,26	0,00	0,25	0,00	0,25	0,70	1,6	14
	90-97	2C	0,02	6,5	5,1	8,0	0,1	0,03	0,03	1,24	0,30	0,00	0,08	0,00	0,08	0,18	1,5	4
Puerto Octay (130 m) 165 cm	0-15	A	13,0	5,5	5,0	11,1	0,2	0,61	0,31	1,09	2,01	0,13	0,20	0,21	0,54	0,68	2,1	14
	15-60	AB	5,7	6,2	5,8	11,2	0,1	0,33	0,68	2,10	3,11	0,03	0,45	0,29	0,77	1,10	2,5	22
	60-85	Bw1	4,5	6,7	6,3	11,2	0,0	0,31	0,67	2,44	3,42	0,03	0,48	0,29	0,80	1,15	2,7	23
	85-104	Bw2	5,2	6,6	6,2	11,3	0,0											
104-120	2B	0,5	6,4		10,8													
Alerce (120 m) 185 cm	0-5	A	28,2	5,0	4,0	7,8	3,0	0,33	0,00	0,03	0,36	0,08	0,01	0,00	0,09	0,04	0,8	1
	5-18	E	19,6	5,2	4,5	11,1	2,4	0,67	0,22	0,25	1,14	0,08	0,00	0,05	0,13	0,24	2,0	5
	18-32	Bs1	9,2	5,4	4,8	11,4	0,8	0,59	0,94	1,99	3,52	0,08	0,07	0,42	0,57	1,19	2,5	24
	32-65	Bs2	2,8	6,3	5,9	10,8	0,1	0,20	0,82	0,92	1,94	0,00	0,03	0,75	0,78	0,86	2,0	17
	65-85	2Cgs	0,6	6,3	5,6	10,3	0,1	0,06	0,17	0,61	0,84	0,00	0,07	0,13	0,20	0,48	1,6	10
	85-96	2Cg	0,3	6,1	5,5	9,3	0,2			0,56	0,70			0,05	0,08	0,40		8
Puerto Montt (100 m) 175 cm	0-16	A	17,0	5,1	4,6	11,5	1,1	0,82	0,46	0,54	1,82	0,37	0,00	0,23	0,60	0,41	2,4	8
	16-30	B/A	9,6	5,4	5,0	11,5	0,3	0,62	0,58	1,33	2,63	0,38	0,15	0,27	0,80	0,79	2,5	16
	30-70	Bt1	6,8	5,9	5,6	11,3	0,1	0,65	0,73	1,70	3,06	0,22	0,33	0,39	0,94	1,00	2,4	20
	70-92	Bt2	4,5	6,2	5,8	11,0	0,2	0,33	0,91	1,65	2,89	0,04	0,14	0,69	0,87	1,05	2,4	21
	92-102	2Cgs	0,5	6,3	5,9	10,3	0,2	0,07	0,22	0,96	1,25	0,00	0,08	0,11	0,19	0,66	1,8	13
	102-118	2Cs	0,1	6,4	5,4	9,4	0,1	0,04	0,06	0,45	0,55	0,00	0,03	0,04	0,07	0,34	1,5	7

\* Incluye para-alófán e imogolita.

piro) permanece bajo y sólo se ve aumentado en el suelo Puerto Montt.

El Al activo total (Al ox) es alto en todos los suelos y está constituido principalmente por Al unido al humus (Al piro), en los horizontes superficiales, y por Al proveniente de alofán e imogolita (Al ox - Al DCB), en los horizontes B.

El Fe total extraído (Fe DCB) es menor que el Al activo total y está constituido fundamentalmente por Fe unido al humus (Fe piro), en los horizontes superficiales, y por óxidos cristalinos de hierro (Fe DCB - Fe ox) en los horizontes B, con excepción del suelo Puerto Octay, en el cual predomina el Fe no cristalino inorgánico (Fe ox - Fe piro).

#### Suelos de la Provincia de Valdivia

Los suelos seleccionados están ubicados a los costados de la Carretera Panamericana y tienen niveles de pluviocidad similares (Cuadro 4).

Los valores de pH (KCl) reflejan que los suelos Lanco y Pelchuquín poseen arcillas predominantemente no cristalinas; en cambio, las del suelo Los Ulmos son fundamentalmente cristalinas, ya que, según Sadzawka y Carrasco (1985), el pH (KCl), en los suelos con contenidos de carbono orgánico menores de 10%, es mayor de 5,0, cuando predominan los alúminosilicatos no cristalinos, y es menor de 5,0, cuando predominan los alúminosilicatos cristalinos.

En los suelos Lanco y Pelchuquín, el Al activo total (Al ox) está constituido principalmente por Al de alofán e imogolita (Al ox - Al DCB), seguido de Al de para-alófán (Al DCB - Al piro). El Fe total extraído (Fe DCB) es menor que el Al activo total y está formado fundamentalmente por óxidos cristalinos de hierro (Fe DCB - Fe ox), en el suelo Lanco, y por Fe no cristalino inorgánico (Fe ox - Fe piro), en el suelo Pelchuquín.

En el suelo Los Ulmos, el Al activo total (Al ox) es bajo y se debe principalmente al Al unido al humus (Al piro). El Fe total extraído (Fe DCB) es más alto que el Al activo total y está constituido fundamentalmente por óxidos cristalinos de hierro (Fe DCB - Fe ox).

Las cantidades de Si ox y Al ox - Al piro extraídas del suelo Los Ulmos son bajas, por lo tanto, las razones molares Al/Si obtenidas están sujetas a considerables errores. El contenido de alofán calculado es bajo y, probablemente, no se deba a componentes no-cristalinos y para-cristalinos, sino a disolución de haloisita mal cristalizada. Wada y Kakuto (1984), por espectroscopía infrarroja diferencial, identificaron como haloisita al producto de disolución, con oxalato, de arcillas de ese suelo.

#### CONCLUSIONES

El Al activo total es alto en todos los suelos seleccionados, con excepción de aquéllos muy jóvenes y de

CUADRO 4. Características generales y análisis de disolución selectiva de los suelos de la Provincia de Valdivia

TABLE 4. General characteristics and selective dissolution analysis of the Valdivia Province soils

Suelo (elevación) pluvisidad	Profundidad cm	Horizonte	C o/o	pH			Al KCl (meq/ 100 g)	Al piro	Al DCB— Al piro	Al ox— Al DCB	Al ox	Fe piro	Fe ox— Fe piro	Fe DCB— Fe ox	Fe DCB	Si ox	Al ox— Al piro/ Si ox	Alofán* o/o
				H <sub>2</sub> O	KCl	NaF												
Lanco (50 m) 210 cm	0— 19	A	10,1	6,0	5,1	11,2	0,1	0,54	0,52	1,26	2,32	0,09	0,28	0,38	0,75	0,73	2,4	15
	19— 35	2Bs	4,2	6,0	5,6	10,9	0,0	0,26	0,69	2,01	2,69	0,01	0,24	0,66	0,91	1,11	2,4	22
	35— 45	3BC	4,7	5,9	5,4	11,1	0,0	0,27	0,60	1,57	2,44	0,01	0,05	0,62	0,68	1,08	2,0	22
	45— 51	4Bs1m	0,8	6,1	5,5	10,5	0,0			0,78	1,29			0,57	0,70	0,67		13
	51— 65	5Bs2	0,1	6,4	5,0	7,5	0,0	0,02	0,05	0,23	0,30	0,00	0,12	0,00	0,12	0,17	1,6	3
Pelchuquín (17 m) 195 cm	0— 4	Ao1	13,9	5,8	5,0	10,4	0,3	0,54	0,62	0,24	1,40	0,12	0,15	0,45	0,72	0,42	2,0	8
	4— 27	Ao2	8,3	5,1	4,5	11,0	1,1	0,49	0,72	0,42	1,63	0,12	0,28	0,34	0,74	0,46	2,5	9
	27— 39	2AB	4,2	5,8	5,1	10,9	0,0	0,28	0,81	1,00	2,09	0,04	0,45	0,39	0,88	0,72	2,5	14
	39— 73	2Bs1	2,0	5,9	5,7	10,7	0,0	0,16	0,53	1,35	2,04	0,02	0,53	0,28	0,83	0,76	2,5	15
	73— 98	2Bs2	1,1	6,1	5,8	10,4	0,0	0,16	0,43	0,84	1,43	0,03	0,56	0,22	0,81	0,78	2,6	10
	98—129	2C1	0,7	6,2	5,8	10,4	0,0	0,17	0,52	0,57	1,26	0,02	0,56	0,26	0,84	0,46	2,4	9
	129—160	2C2	0,5	6,3	5,8	10,5	0,0	0,15	0,32	0,68	1,15	0,01	0,32	0,30	0,63	0,45	2,2	9
160—200	3C3	1,5	6,1	5,6	10,8	0,0	0,19	0,49	1,45	2,13	0,01	0,42	0,29	0,72	0,85	2,3	17	
Los Ulmos (100 m) 210 cm	0— 7	A	6,5	5,6	4,4	10,0	1,2	0,60	0,11	0,01	0,72	0,25	0,02	0,72	0,99	0,08	1,5	2
	7— 27	E	4,4	5,0	4,3	10,4	2,1	0,51	0,24	0,00	0,75	0,24	0,05	0,81	1,10	0,09	2,7	2
	27— 66	EB	2,5	5,4	4,2	9,7	1,6	0,33	0,35	0,02	0,70	0,20	0,11	0,87	1,18	0,10	3,7	2
	66—115	Bs1	0,8	5,2	4,1	9,0	1,9	0,16	0,20	0,10	0,46	0,08	0,19	1,10	1,37	0,08	3,8	2
	115—166	Bs2	0,6	5,1	4,1	8,7	2,2	0,31	0,01	0,05	0,37	0,14	0,10	1,17	1,41	0,07	0,9	1
166—200	Bs3	0,4	5,0	4,1	8,8	2,2	0,22	0,09	0,06	0,37	0,08	0,20	1,06	1,34	0,07	2,1	1	

\* Incluye para—alofán e imoglita.

los que poseen arcillas predominantemente cristalinas. Está constituido principalmente por Al unido al humus, en los horizontes superficiales, y por Al proveniente de alofán e imogolita, en los horizontes B.

El Al intercambiable sólo se encuentra en cantidades apreciables en los horizontes ricos en materia orgánica y en los horizontes con predominio de minerales cristalinos.

El Fe total extraído es menor que el Al activo total, excepto en los horizontes eminentemente cristalinos, y está formado fundamentalmente por Fe unido al humus, en los horizontes superficiales, y por Fe no cris-

talino inorgánico, en los horizontes más profundos. En los suelos más evolucionados se encuentran cantidades considerables de óxidos cristalinos de hierro.

Las concentraciones máximas estimadas de alúminosilicatos no—cristalinos y para—cristalinos (para—alofán, alofán e imogolita) varían entre 2 y 24% del suelo menor de 2 mm y se encuentran en los horizontes B. Las razones molares Al/Si calculadas son cercanas a 1,0, cuando los contenidos de alúminosilicatos no—cristalinos y para—cristalinos son bajos, y suben a alrededor de 2,5, con los contenidos más altos de estos componentes.

## RESUMEN

Las formas de Al activo y Fe en 70 muestras de suelos volcánicos, correspondientes a 12 perfiles ubicados en las Provincias de Osorno, Llanquihue y Valdivia, fueron estimadas por análisis de disolución selectiva, usando KCl 1N, pirofosfato de sodio 0,1M, ditionito—citrato—bicarbonato y oxalato ácido 0,2M.

El Al activo total aumenta con el desarrollo de los suelos y está constituido, principalmente, por Al unido al humus, en los horizontes superficiales, y por Al

proveniente de alofán e imogolita, en los horizontes B. El Al intercambiable se encuentra en cantidades apreciables solamente en los horizontes ricos en materia orgánica y en los horizontes con predominio de minerales cristalinos.

El Fe total extraído es menor que el Al activo total, excepto en los horizontes eminentemente cristalinos, y está formado fundamentalmente por Fe unido al humus, en los horizontes superficiales, y por Fe no cris-

talino inorgánico, en los horizontes más profundos. Solamente en los suelos más evolucionados se encuentran cantidades considerables de óxidos cristalinos de Fe.

Las concentraciones máximas estimadas de alúminosilicatos no-cristalinos y para-cristalinos (para-alofán,

alofán e imogolita) varían entre 2 y 24% del suelo menor de 2 mm y se encuentran en los horizontes subsuperficiales. Las razones molares Al/Si calculadas son cercanas a 1,0, cuando los contenidos de alúminosilicatos no-cristalinos y para-cristalinos son bajos y suben a alrededor de 2,5, con los contenidos más altos de estos componentes.

#### LITERATURA CITADA

- BLAKEMORE, L.C. 1983. Acid oxalate-extractable iron, aluminium and silicon. En: Leamy, M.L. Circular letter Nº 5. International Committee on the Classification of Andisols, 26 Aug. 1983.
- CHILDS, C.W.; PARFITT, R.L.; and LEE, R. 1983. Movement of aluminium as an inorganic complex in some podzolized soils, New Zealand. *Geoderma* 29: 139–155.
- FEY, M.V. and Le ROUX, J. 1975. Quantitative determination of allophane in soil clays. *Proc. Int. Clay Conf. Mexico*, July 1975. p: 451–463.
- FEY, M.V. and Le ROUX, J. 1977. Properties and quantitative estimation of poorly crystalline components in sesquioxidic soil clays. *Clays Clay Min.* 25: 285–294.
- HIGASHI, T. and IKEDA, H. 1974. Dissolution of allophane by acid oxalate solution. *Clay Sci.* 4: 205–211.
- McKEAGUE, J.A.; BRYDON, J.E.; and MILES, N.M. 1971. Differentiation of forms of extractable iron and aluminium in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35: 33–38.
- PARFITT, R.L. 1980. Chemical properties of variable charge soils. En: Theng, B.K.G. (ed.) 1980. *Soils with variable charge*. Soil Bureau, Dep. Sci. Ind. Res., Lower Hutt, New Zealand. p: 167–194.
- PARFITT, R.L. 1983. Identification of allophane in Inceptisols and Spodosols. *Soil Taxonomy News* 5: 11–18.
- PARFITT, R.L. and HENMI, T. 1982. Comparison of an oxalate-extraction method and an infrared spectroscopic method for determining allophane in soil clays. *Soil Sci. Plant Nutr.* 28: 183–190.
- SADZAWKA, M.A. y CARRASCO, M.A. 1985. El pH del suelo. En: J. Tosso T. (ed.). *Suelos volcánicos de Chile*. Santiago, Chile. Talleres Gráficos INIA.
- SOIL SURVEY STAFF. 1972. Soil laboratory methods and procedures for collecting soil samples. Soil Conservation Service, Report Nº 1, USDA.
- SOIL SURVEY STAFF. 1982. Procedures for collecting soil samples and methods of analysis for soil survey. Soil Conservation Service, Report Nº 1 (revised), USDA.
- WADA, K. 1977. Allophane and imogolite. En: Dixon, J.B. and Weed, S.B. (ed.) 1977. *Minerals in soil environments*. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wis. p: 603–638.
- WADA, K. 1980. Mineralogical characteristics of Andisols. En: Theng, B.K.G. (ed.) 1980. *Soils with variable charge*. Soil Bureau, Dep. Sci. Ind. Res., Lower Hutt, New Zealand. p: 87–107.
- WADA, K. and GUNJIGAKE, N. 1979. Active aluminium and iron and phosphate adsorption in Ando soils. *Soil Sci.* 128: 331–336.
- WADA, K. and KAKUTO, Y. 1984. Summary of clay mineral analysis of Chilean soil samples. En: ICOMAND. *Tour Guide Part 1: Chile. Sixth International Soil Classification Workshop, Chile and Ecuador, 9–20 Jan. 1984.*