



SUELOS DE CHILE

Walter Luzio Leighton



Universidad de Chile

SUELOS DE CHILE

Walter Luzio Leighton (Ed.)

2010

SUELOS DE CHILE

Registro de Propiedad Intelectual N° 184959

ISBN N° 978-956-19-0648-8

Impreso MAVAL

San José N° 5862

Fono 944 3550

Santiago-Chile

Prólogo

La idea de generar un texto en el cual pudieran converger los conocimientos acumulados por mucho tiempo sobre las características y distribución de los suelos de Chile, tiene varias décadas de maduración. Por diversas razones, tanto personales como profesionales, no había sido posible concretar este anhelo hasta el presente donde se conjugaron factores tan sobresalientes como la acumulación de un importante bagaje de conocimientos, el tiempo necesario no sólo para escribir, sino para investigar y ordenar información y finalmente y tal vez el más trascendente, el contar con colaboradores de sólida formación edafológica, asertivos y cuyos aportes enriquecieron notablemente el texto original.

Con conocimiento de la forma y el fondo del tema, el libro se llama *Suelos de Chile* y no *Los Suelos de Chile*, pues se ha estimado que el segundo nombre habría significado la presunción que se hace una revisión y descripción de *todos* los suelos que existen en el país, lo cual podría llevar a engaño al lector. Aún cuando se hace una revisión tan comprehensiva como ha sido posible, recurriendo tanto a información propia como externa, se tiene clara conciencia que existen numerosas situaciones que no están documentadas, ya sea por falta de datos publicados ya sea porque se trata de áreas que han sido inaccesibles a los reconocimientos provenientes de los organismos públicos o privados.

El Libro introduce el concepto de *Zona Edáfica* que pudiere sugerir una uniformidad u homogeneidad de los cuerpos suelos que se encuentran enmarcados dentro de ella. Sin embargo, para una realidad geográfica y fisiográfica como la de Chile ello no ocurre, pues los paisajes han sido remodelados por diferentes agentes tales como el agua, el hielo, el viento, el volcanismo y, más recientemente, por el hombre. Teniendo presente la enorme variabilidad de suelos que se puede encontrar en una misma *Zona Edáfica*, existen al menos, dos elementos que pueden considerarse como relativamente constantes, que son, el contenido de agua y la temperatura media en la sección de control de los suelos. Es en función de estos elementos que se ha querido sistematizar la distribución de los suelos del país, con el fin de hacer más comprehensiva la lectura tanto para el especialista como para el estudiante que busca información.

El material fotográfico que complementa las descripciones y discusiones sobre los suelos, es único y original, salvo en aquellos casos donde se expresa claramente la autoría. Se estima que este es un aporte verdaderamente significativo para la comprensión e identificación de los cuerpos suelo del país.

Finalmente, es pertinente recordar las palabras de W. Bloom: *El agua se bebe, el aire se respira, pero el suelo no se come; sólo intuimos que nos alimenta indirectamente* y, tal vez, sea esta la razón por qué este recurso natural *suelo* continúa siendo el gran olvidado en las mesas de discusión ambientales, en todos los aspectos legales y en lo que dice relación con su protección. De esta manera, el suelo constituye un recurso que, además de ser irrecuperable es extremadamente frágil, pues su deterioro o su degradación pueden ocurrir en tiempos mensurables de semanas o meses y generalmente por efecto de acciones relacionadas con el mal uso generado por el hombre.

Se espera que este libro contribuya a expandir y profundizar el conocimiento que se tiene de los suelos de Chile, de tal manera que las nuevas promociones de profesionales puedan influir en mejor forma y con un mayor grado de información a proteger este recurso natural para las generaciones futuras.

El Editor.

SUELOS DE CHILE

INDICE

| | |
|--|----|
| CAPITULO 1 | |
| <u>Conceptos básicos de pedogénesis y clasificación</u> | 1 |
| <i>Luzio, W., Casanova, M., Seguel, O.</i> | |
| 1.1. Fundamentos de pedogénesis | 3 |
| 1.2. Factores de Formación de Suelos | 4 |
| 1.2.1. Materiales de partida | 5 |
| 1.2.2. Clima | 9 |
| 1.2.3. Organismos | 12 |
| 1.2.4. Relieve | 15 |
| 1.2.5. Tiempo | 20 |
| 1.3. Procesos pedogénicos | 22 |
| Adiciones | 24 |
| Sustracciones | 24 |
| Transferencias/translocaciones | 25 |
| Transformaciones | 25 |
| 1.4. Fundamentos de clasificación de suelos | 27 |
| 1.4.1. Regímenes de humedad de los suelos | 28 |
| Régimen ácuico | 28 |
| Régimen arídico y tórrico | 29 |
| Régimen ústico | 29 |
| Régimen údico | 29 |
| Régimen xérico | 29 |
| 1.4.2. Regímenes de temperatura de los suelos | 30 |
| Régimen crítico (frígido, méxico, térmico, hipertérmico) | 30 |
| 1.4.3. Regímenes de humedad de los suelos de Chile | 30 |
| Régimen arídico (tórrico) | 30 |
| Régimen xérico | 31 |
| Régimen ústico | 31 |
| Régimen údico | 31 |
| 1.4.4. Regímenes de temperatura de los suelos de Chile | 31 |
| Régimen térmico | 31 |
| Régimen isotérmico | 31 |
| Régimen méxico | 32 |
| Régimen isoméxico | 32 |
| 1.4.5. Categorías superiores de clasificación de suelos | 32 |
| 1.5. Zonas Edáficas de Chile | 35 |
| Figuras Capítulo 1 | 36 |
| CAPITULO 2 | |
| <u>Suelos de la Zona Desértica (desde 18° LS hasta 29° LS)</u> | 39 |
| <i>Luzio, W., Casanova, M., Seguel, O.</i> | |

| | |
|---|----|
| 2.1. Suelos del Sector Altiplánico | 41 |
| 2.1.1. Reseña de la geología y geomorfología del área | 41 |
| 2.1.2. Características de los suelos | 44 |
| Suelos esqueléticos | 44 |
| Suelos con pedogénesis incipiente | 45 |
| Suelos formados en materiales volcánicos recientes | 46 |
| Suelos saturados en cuencas depresivas del paisaje | 48 |
| Suelos de los Valles Cordilleranos | 51 |
| 2.2. Suelos de la Depresión Intermedia | 52 |
| Suelos de llanuras depositacionales | 52 |
| Suelos con alto contenido de sales (salares) | 53 |
| 2.3. Suelos del Sector Costero | 57 |
| 2.4. Suelos del Valle de Copiapó | 59 |
| 2.5. Suelos del Valle de Huasco | 62 |
| Suelos aluviales recientes en terrazas de posición baja | 62 |
| Suelos de terrazas de posición alta | 62 |
| Suelos de terrazas intermedias del interior del valle | 63 |
| Suelos de Piedmont | 63 |
| Figuras Capítulo 2 | 66 |

CAPITULO 3

| | |
|--|----|
| <u>Suelos de la Zona Árida y Semiárida (desde 29° LS hasta 32° LS)</u> | 81 |
| <i>Casanova, M., Seguel, O., Luzio, W.</i> | |

| | |
|---|-----|
| 3.1. Características generales de la Zona | 83 |
| 3.2. Suelos de la zonas interiores | 86 |
| 3.3 Suelos de los Valles | 91 |
| 3.3.1. Valle del río Elqui | 91 |
| 3.3.2. Valle del río Limarí | 93 |
| 3.3.3. Valle del río Choapa | 98 |
| 3.3.4. Valle del río Quilimarí | 101 |
| 3.4. Suelos del Sector Costero | 102 |
| 3.4.1. Suelos de la terrazas marinas | 102 |
| Suelos sin desarrollo de perfil | 103 |
| Suelos con horizonte cálcico | 105 |
| Suelos con <i>Tertel</i> | 106 |
| Suelos con horizonte nátrico | 109 |
| 3.4.2. Suelos en posición de lomajes y cerros de la Cordillera de la Costa | 110 |
| Suelos delgados con escaso desarrollo sobre roca | 111 |
| Suelos con horizonte B | 111 |
| Figuras Capítulo 3 | 113 |

CAPITULO 4

| | |
|---|-----|
| <u>Suelos de la Zona Mediterránea Árida (desde 32°00'LS hasta 37°45'LS)</u> | 125 |
| <i>Luzio, W., Seguel, O., Casanova, M.</i> | |

| | |
|--|-----|
| 4.1. Características generales de la Zona | 127 |
| 4.2. Suelos de los sectores cordilleranos | 128 |
| 4.3. Suelos de los sectores de la pre-cordillera de Los Andes | 129 |
| 4.3.1. Regiones de Valparaíso y Metropolitana (32°00' – 43°00' aprox.) | 129 |

| | |
|--|-----|
| 4.3.2. Regiones de O'Higgins y Maule (34°00' - 36°00' aprox.) | 131 |
| 4.3.3. Región del Bío-Bío (36°00' - 37°45' aprox) | 135 |
| 4.4. Suelos de la Depresión Intermedia | 137 |
| 4.4.1. Regiones de Valparaíso y Metropolitana (32°00' - 43°00' aprox.) | 137 |
| Suelos en terrazas aluviales | 137 |
| Suelos en posición de cerros | 140 |
| Suelos en posición de Piedmont | 141 |
| Suelos en cuencas de sedimentación lacustre | 142 |
| Suelos de origen volcánico | 144 |
| 4.4.2. Regiones de O'Higgins y Maule (34°00' - 36°00' aprox.) | 145 |
| Suelos en terrazas aluviales | 145 |
| Suelos en posición de Piedmont | 147 |
| Suelos en cuencas de sedimentación lacustre | 149 |
| Suelos sobre toba volcánica | 151 |
| Suelos sobre sedimentos fluvio-glaciales | 152 |
| Suelos de origen volcánico | 154 |
| 4.4.3. Región del Bío-Bío (36°00' - 37°45' aprox) | 155 |
| Suelos en terrazas aluviales | 155 |
| Suelos sobre toba volcánica | 157 |
| Suelos sobre sedimentos fluvio-glaciales | 159 |
| Suelos derivados de materiales volcánicos | 160 |
| 4.5. Suelos de la Cordillera de la Costa | 163 |
| 4.5.1. Regiones de Valparaíso y Metropolitana (32°00' - 43°00' aprox.) | 163 |
| Suelos de cerros en la Cordillera de la Costa | 163 |
| Suelos en lomajes y Terrazas Costeras | 164 |
| 4.5.2. Regiones de O'Higgins y Maule (34°00' - 36°00' aprox.) | 166 |
| Suelos de cerros en la Cordillera de la Costa | 166 |
| Suelos en Lomajes y Terrazas Costeras | 169 |
| 4.5.3. Región del Bío-Bío (36°00' - 37°45' aprox) | 171 |
| Suelos de cerros en la Cordillera de la Costa | 171 |
| Suelos en Lomajes y Terrazas Costeras | 171 |
| Figuras Capítulo 4 | 174 |

CAPITULO 5

| | |
|--|-----|
| Suelos de la Zona Mediterránea Húmeda (desde 37°45'LS hasta 43°00'LS) | 195 |
|--|-----|

Luzio, W., Seguel, O., Casanova, M.

| | |
|--|-----|
| 5.1. Reseña geológica de la región comprendida entre Los Ángeles y Chiloé | 197 |
| 5.2 Características y propiedades de los suelos del sector Údico-Mésico | 197 |
| 5.2.1. Suelos de la Cordillera de Los Andes | 197 |
| 5.2.2. Suelos de la pre-Cordillera de Los Andes | 199 |
| 5.2.3. Suelos de la Depresión Intermedia | 201 |
| Suelos con horizonte argílico (B _t) | 202 |
| Suelos con horizonte cámbico (B) | 204 |
| Andisols | 207 |
| Ñadis (<i>semi-ñadis</i>) | 210 |

| | |
|---|-----|
| Suelos con alta saturación de bases (Mollisols) | 211 |
| 5.2.4. Suelos de la Cordillera de la Costa | 212 |
| Suelos con horizonte B _t | 213 |
| Suelos con horizonte B | 215 |
| Andisols | 216 |
| 5.3. Características y propiedades de los suelos del sector Údico-Isomésico | 218 |
| 5.3.1. Suelos de la Cordillera de Los Andes | 218 |
| 5.3.2. Suelos de la pre-Cordillera de Los Andes | 220 |
| 5.3.3. Suelos de la Depresión Intermedia | 223 |
| Andisols típicos | 223 |
| Andisols con duripán y drenaje moderado | 226 |
| Andisols con régimen ácuico (<i>Ñadis</i>) | 228 |
| Suelos derivados de cenizas volcánicas, no Andisols | 230 |
| Suelos derivados de cenizas volcánicas antiguas | 231 |
| 5.3.4. Suelos de la Cordillera de la Costa | 233 |
| Inceptisols con propiedades ándicas | 233 |
| Ultisols con influencia volcánica | 236 |
| Figuras Capítulo 5 | 239 |

CAPITULO 6

| | |
|---|-----|
| <u>Suelos de la Zona Húmeda</u> (desde 43° LS hasta 50° LS) | 263 |
| <i>Luzio, W., Seguel, O., Casanova, M.</i> | |
| 6.1. Reseña Geomorfológica de la Región | 265 |
| 6.2. Andisols del <i>Sector Central</i> (entre 71°45' y 72°30') | 268 |
| 6.3. Suelos con alta saturación de bases (desde 71°45' hacia el este) | 271 |
| 6.4. Suelos en posición de terrazas con horizonte cámbico | 274 |
| Figuras Capítulo 6 | 277 |

CAPITULO 7

| | |
|--|-----|
| <u>Suelos de la Zona de Magallanes</u> (desde 50°LS hasta 55°LS) | 291 |
| <i>Luzio W., M. Casanova, O. Seguel.</i> | |
| 7.1 Antecedentes Generales | 293 |
| 7.2 Regímenes de Humedad y Temperatura de los suelos | 295 |
| 7.3 Suelos | 295 |
| 7.3.1 Suelos de la Provincia de Última Esperanza | 296 |
| 7.3.2 Suelos de la Provincia de Magallanes | 298 |
| 7.3.3 Suelos de la Provincia de Tierra del Fuego | 300 |
| 7.3.4 Suelos orgánicos | 303 |
| Figuras Capítulo 7 | 305 |

| | |
|---|------------|
| CAPITULO 8 | |
| <u>Suelos de la Zona Antártica (entre 59°W y 61°W hasta 62°S y 63°S)</u> | 309 |
| <i>Luzio W., M. Casanova, O. Seguel.</i> | |
| 8.1 Antecedentes generales | 311 |
| 8.2 Características generales de los suelos | 314 |
| 8.3 Suelos Minerales | 315 |
| 8.4 Suelos Ornitogénicos | 318 |
| Figuras Capítulo 8 | 321 |
| | |
| CAPITULO 9 | |
| <u>Suelos de las Islas de Pascua y de Juan Fernández</u> | 325 |
| <i>Luzio W., M. Casanova, O. Seguel.</i> | |
| 9.1 Isla de Pascua | 327 |
| 9.1.1 Antecedentes Generales | 327 |
| 9.1.2 Características generales de los suelos | 330 |
| 9.1.3 Descripción de los suelos | 332 |
| 9.1.4 Evolución histórica de los suelos | 335 |
| 9.2 Isla de Juan Fernández | 338 |
| 9.2.1 Antecedentes Generales | 338 |
| 9.2.2 Descripción de los suelos | 341 |
| Suelos de Montaña de desarrollo incipiente derivados de cenizas volcánicas | 342 |
| Suelos de Relieve Intermedio y Mayor Desarrollo Relativo | 342 |
| Suelos de Carácter Depositional en Relieves Semi-estabilizados | 342 |
| | |
| CAPITULO 10 | |
| <u>Cartografía generalizada de suelos de Chile</u> | 343 |
| <i>Casanova M., W. Luzio, O. Seguel.</i> | |
| 10.1 Antecedentes Generales | 345 |
| Figuras Capítulo 10 | 346 |
| | |
| LITERATURA CITADA | 353 |

CAPÍTULO 1

Conceptos básicos de pedogénesis y clasificación



Luzio, W., Casanova, M. Seguel, O. 2009. Conceptos básicos de pedogénesis y clasificación. pp: 1-37 . In: Suelos de Chile. (Luzio, W., Editor). Universidad de Chile.

1.1 Fundamentos de pedogénesis

El suelo es el resultado de la acción acumulada de los flujos de energía y materia a partir de un material de origen, procesos que tienen como efecto (entre otras cosas) la transformación progresiva de los materiales de partida en constituyentes secundarios (Buol *et al.*, 1997).

La Pedología ha evolucionado a través del descubrimiento, análisis y racionalización de los procesos pedogénicos, cuyos resultados fundamentales provienen del ingreso, transformación y pérdida de componentes en el suelo. Aunque es definida como *el estudio del cuerpo suelo en su posición natural*, tradicionalmente ha sido subdividida en morfología de suelos, factores de formación de suelos, procesos de formación de suelos, clasificación de suelos, geografía de suelos y cartografía de suelos. Algunos autores consideran a la Pedología como descriptiva y dependiente de las estructuras de los sistemas de clasificación de suelo; no obstante, Bockheim *et al.* (2005) en una extensa revisión de la literatura, muestran una gran diversidad de conceptos desarrollados por la Pedología, cuyos aportes científicos se han considerado como piedras angulares para las Ciencias de la Tierra.

Los suelos no son controlados por genes, como podría entenderse a través del término *génesis de suelos*, sino más bien su formación y dinámica está determinada por factores de formación (Buol *et al.*, 1997). El propósito fundamental de la Pedología es discriminar y cuantificar los impactos de estos diferentes factores (el clima, los organismos vivos, el relieve, el material parental y el tiempo) sobre los flujos de materia y energía; para esto, ha sido necesario desarrollar modelos de formación y evolución de los suelos. Los primeros intentos en este sentido, los efectuaron Dokuchaev, Marbut y Jenny (Figura 1-1).

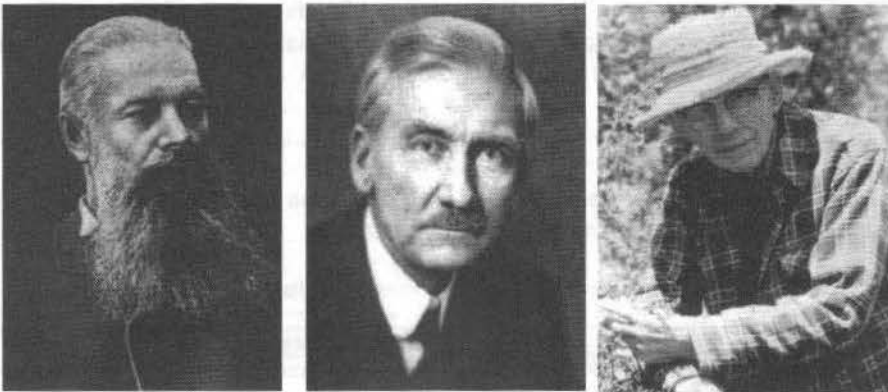


Figura 1-1. Pioneros de la Ciencia del Suelo: Vasili V. Dokuchaev (Rusia: 1846–1903), Curtis F. Marbut (EUA: 1863–1935) y Hans Jenny (Suiza: 1899–1992).

La idea que los suelos se forman de manera predecible, en respuesta a los factores ambientales se atribuye a Dokuchaev, quien creó el concepto de *zonalidad* y distribución zonal de los suelos, que expresó a través de la ecuación $S = f(\text{clima, organismos, material parental})$. Posteriormente Jenny (1941), definió los factores como variables independientes y agregó el relieve (r) y el tiempo (t). Esta transformación hacia una teoría cuantitativa que sigue principios físicos y químicos, permitió la caracterización del suelo como un sistema. No obstante, se consideró que la variable tiempo tenía el status de ser el único factor de estado independiente (Jenny, 1961). Hasta el día de hoy, numerosos estudios recurren a estos trabajos iniciales para la predicción de las propiedades del

suelo (Samouëlian and Cornu, 2008). Es necesario considerar, eso sí, que aunque los modelos más recientes se han basado en los modelos de los procesos pedogénicos, este enfoque se puede considerar más bien complementario que competitivo con el de carácter factorial.

Cualquier combinación particular de los denominados *factores de formación de suelos* dará lugar a uno (o varios) *procesos de formación de suelos*, es decir un conjunto de eventos físicos, químicos y biológicos que se conjugan para generar un suelo particular. Aun cuando se ha establecido que, en la práctica, no es posible separar con certeza la influencia e incidencia de cada proceso y cada factor de formación en una determinada pedogénesis, solamente por motivos prácticos se analizarán separadamente.

1.2 Factores de formación de suelos

La conceptualización de más amplia aceptación del sistema suelo es la expresión axiomática de los factores de estado de Jenny (1941), quien afirma que el estado de desarrollo de un suelo es el producto de cómo se han conjugado un determinado clima (cl), una litología o material de origen (p), unos organismos (o), un relieve (r) en un tiempo (t) determinado. Agrega además, unos puntos suspensivos (...) para indicar otros factores no especificados, pero que pudieran ser relevantes en determinadas circunstancias, tales como la influencia del hombre.

$$S = f(\text{cl}, \text{p}, \text{o}, \text{r}, \text{t}, \dots)$$

Dichos factores se consideran variables (factores de estado) que definen el estado de un sistema de suelo (Cuadro 1-1). Los factores de estado no son sólo cualitativos sino también cuantitativos, son independientes del sistema y pueden variar en el tiempo y en el espacio (Amundson and Jenny, 1997). Con posterioridad a su proposición inicial, Jenny (1961, 1980) modificó su ecuación con el fin de formalizar el concepto de ecosistema:

$$ec, s, v, a = f(\text{cl}, \text{p}, \text{o}, \text{r}, \text{t}, \dots)$$

donde *ec* puede ser cualquier propiedad de un ecosistema (ej. producción primaria), *s* es una propiedad del suelo, *v* de la vegetación y *a* de los animales.

Cuadro 1-1. Principales factores de formación de suelo y ecosistema (Jenny, 1941; Amundson and Jenny, 1997)

| Factor de estado | Definición y características |
|-------------------|---|
| Clima | Condición atmosférica regional, comúnmente caracterizada por la temperatura y la precipitación media anual |
| Organismos | Flujo potencial de componentes bióticos en el sistema (distinto de lo observado en cualquier momento) |
| Relieve | Gradiente, aspecto y configuración del paisaje al tiempo $t = 0$ |
| Material parental | Características químicas y físicas del sistema suelo al tiempo $t = 0$ |
| Tiempo | Tiempo transcurrido desde que el sistema se formó o rejuveneció |
| Hombre | Un factor biótico de magnitud debido a la posesión de prácticas culturales y actitudes que alteran los paisajes |

1.2.1 Materiales de partida

Al hacer referencia a los materiales de partida o *parentales*, es necesario considerar a los procesos geológicos en su más amplia acepción, es decir, desde la tectónica de placas hasta el volcanismo y desde la sedimentación de carbonatos en los océanos profundos hasta las glaciaciones. Todos estos procesos originan el material base, el *material parental*, que crea las condiciones adecuadas para que, eventualmente, sirva de sustrato para la formación de un suelo. Así, la litología del material parental determina la naturaleza física y mineralógica que tendrá el suelo.

En Chile, González-Bonorino y Aguirre (1970) describieron los principales tipos de rocas y asociaciones minerales del basamento cristalino del territorio. Este basamento consiste predominantemente de rocas metamórficas semipelíticas de bajo grado y de rocas graníticas, expuestas de preferencia, a lo largo de la región costera de Chile Central y Austral, además de áreas aisladas de Chile Septentrional. La edad de las rocas metamórficas y graníticas sería del Neopaleozoico. En Chile Central, los autores definen tres series metamórficas, las que emplean para una clasificación provisoria de las rocas de otras partes del país. Estas series corresponden a condiciones de metamorfismo a presiones media-alta, media-baja y baja, respectivamente. En la Figura 1-2, se presenta un mapa geológico simplificado de gran parte del país, de Cembrano y Lara (2009).

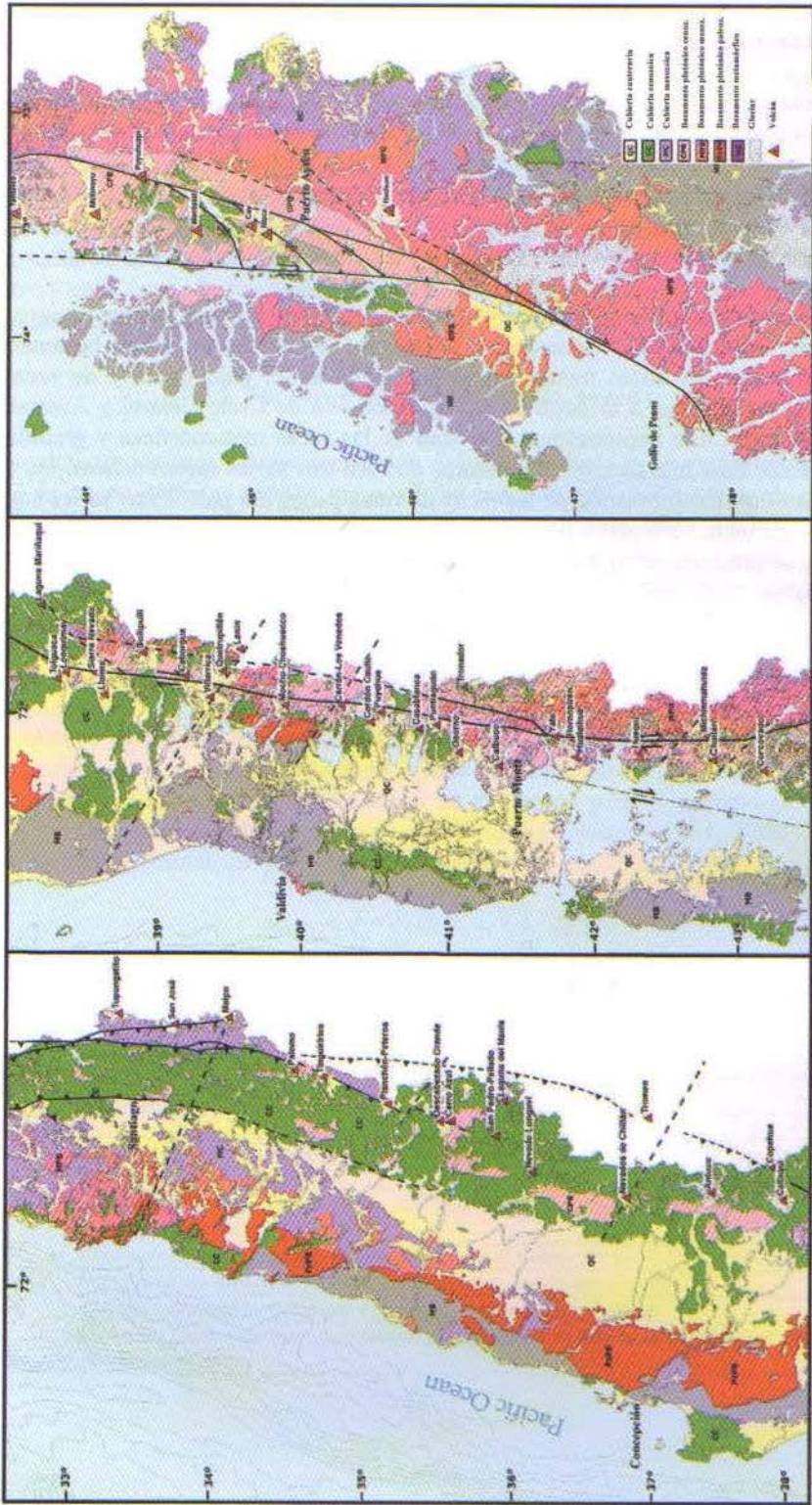


Figura 1-2. Mapa Geológico de Chile simplificado, a escala 1: 1.000.000 (Cembrano y Lara, 2009).

Los suelos formados a partir de areniscas cuarcíferas o de granito meteorizado tenderán a ser arenosos con algo de arcilla heredada, ya sea a partir de adiciones eólicas o bien de impurezas que haya tenido inicialmente la roca original. Comúnmente los suelos son excesivamente drenados, tienen una baja fertilidad y una baja capacidad de retención de agua.

Las rocas félsicas (claras) tienden a meteorizarse hacia una fracción coloidal dominada por caolinita y eventualmente gibsita (Figura 1-3), con liberación de Ca y K que pueden ser usados por el componente biológico. La caolinita y la gibsita proporcionan una baja Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), resultando en una rápida lixiviación de nutrientes. La presencia de cuarzo en las rocas félsicas proporciona la trama esquelética de granos de cuarzo resistentes que ayudan a una rápida percolación del agua. Un ejemplo de esta situación (CIREN, 1997b) es la Asociación Constitución (Rhodoxeralfs) constituida por suelos formados a partir de filitas muy meteorizadas con matriz arcillosa.

Las rocas máficas (oscuras) generalmente se meteorizan hacia esmectitas (Figura 1-3) y una fracción coloidal rica en óxidos de Fe, simultáneamente con la liberación de Ca y Mg, cationes que pueden ser usados por la vegetación y los organismos del suelo. Las esmectitas proveen una elevada CIC, la cual lógicamente proporciona un elevado intercambio de nutrientes. A partir de las rocas máficas, los suelos pueden desarrollar horizontes con alto contenido de arcilla (esmectitas) las que, al expandirse en húmedo, reducen el movimiento del agua debido al cierre de los macroporos.

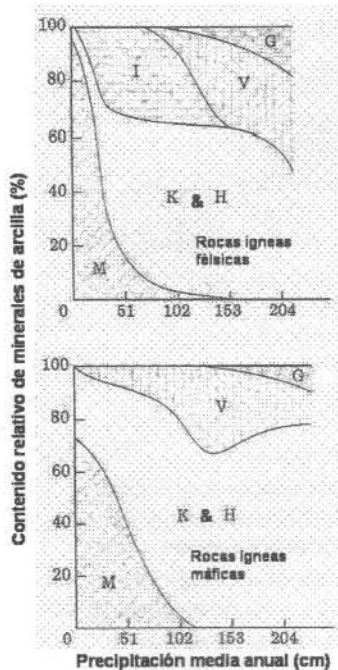


Figura 1-3. Contenido relativo de minerales de arcilla (M: montmorrillonita, V: vermiculita, K: caolinita, H: haloisita, I: ilita, G: gibsita) en función de las precipitaciones en muestras superficiales de suelos de California (Birkeland, 1984).

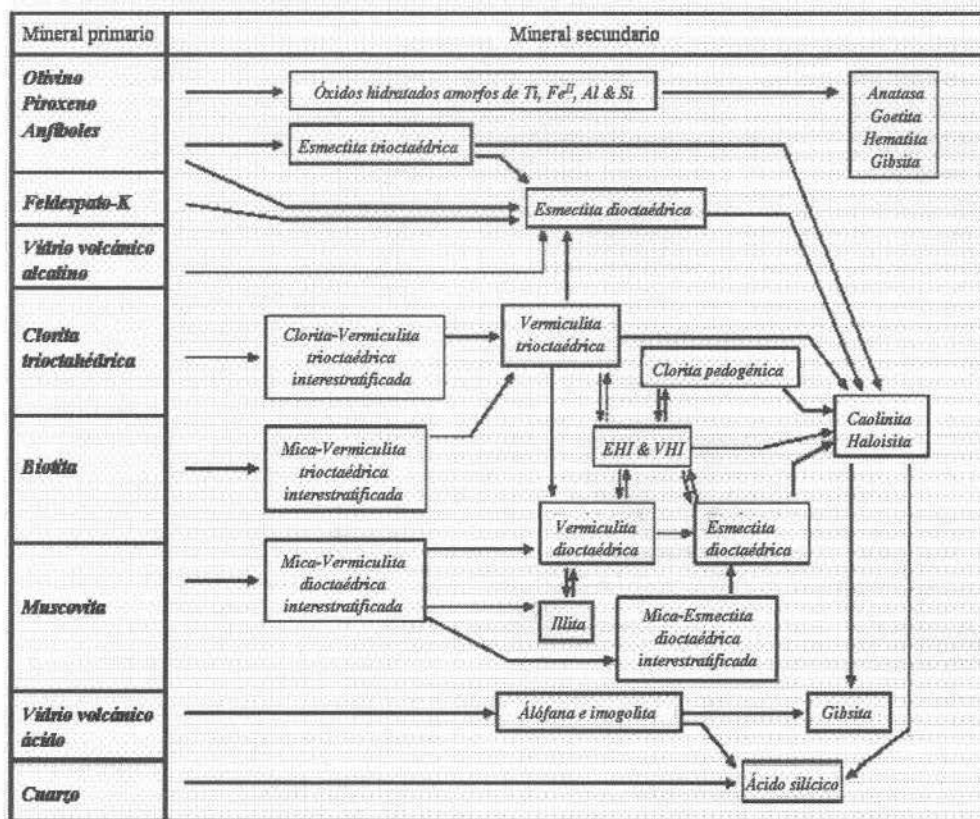


Figura 1-4. Vías y condiciones generales de formación en mineralogía de suelos. EHI: Esmectita-Hidróxido interstratificados, VHI: Vermiculita-Hidróxido interstratificados (Essington, 2005).

Las correlaciones entre las propiedades de los suelos y las precipitaciones, basadas sólo en los valores de las precipitaciones sin tomar en consideración la topografía, omiten la influencia del escurrimiento superficial, el cual puede aumentar o disminuir la efectividad de las precipitaciones como factor de formación de suelos. Además, se debe reconocer que normalmente los datos de precipitación y temperatura están dados para una región, es decir se refieren al macroclima; y éstas son cifras gruesas que sólo se pueden utilizar para describir en forma general el clima de grandes regiones. Dentro de éstas pueden existir microclimas que difieren considerablemente del macroclima. Por ejemplo, en suelos con drenaje restringido el agua se acumula por un tiempo mayor al que ocurre en condiciones de buen drenaje. Esta situación se origina por discontinuidades en el perfil o por una posición baja en el paisaje; en este último caso el factor predominante de la pedogénesis es el relieve.

Es necesario considerar además, que las relaciones de promedios anuales de precipitación en función de determinadas propiedades de los suelos no tienen toda la validez que se les quiso atribuir en el pasado, principalmente debido a que no es posible explicar el comportamiento de un suelo a través de factores simples (Luzio *et al.*, 2006).

Dentro de los suelos, el agua es retenida por fuerzas adhesivas y cohesivas que se oponen a la lixiviación que genera la fuerza de gravedad. Cuando la capacidad de retención de agua que puede tener un suelo es excedida, este exceso de agua puede moverse hacia abajo, hacia los niveles freáticos, o lateralmente, hacia cursos de agua superficiales. La remoción del agua requiere de energía solar para evaporar agua desde la superficie del suelo o desde la vegetación (Hillel, 1998).

Las raíces de las plantas pueden absorber agua desde mayores profundidades a las que puede actuar la energía de evaporación. Con este fenómeno se extiende el papel del flujo de calor latente en las transferencias de agua - suelo - atmósfera. El flujo favorecido por la mayor disponibilidad de precipitaciones favorece la meteorización del material parental (Figura 1-5).

La temperatura también tiene una influencia en el comportamiento hidrológico, ya sea en forma permanente o transitoria. Se considera, por ejemplo, que el permafrost impide el movimiento del agua en el suelo; pero si el permafrost se funde (estacionalmente o en forma inducida) deja de ser un impedimento para el flujo del agua. De esta forma el movimiento de los flujos de agua puede ser muy diferente dependiendo de la estación del año, para muchos suelos.

La temperatura media anual es una abstracción que, para numerosos propósitos, resulta un índice inadecuado. A pesar de esta falencia, se han cuantificado numerosas correlaciones entre propiedades de los suelos y la temperatura media anual, tratando de establecer relaciones regionales. El papel de la temperatura en la pedogénesis se manifiesta esencialmente a través de la aceleración de las reacciones químicas al aumentar la temperatura, ya que por cada incremento de 10°C las reacciones se aceleran por un factor de 2 ó 3 (Van Wambeke, 1992).

La meteorización química consiste esencialmente en la disociación hidrolítica de los silicatos, la cual se ve incrementada por el aumento de la temperatura (Figura 1-5). Así, cuando la temperatura es de 0°C existe una disociación relativa del agua de 1, en cambio con temperaturas de 50°C esta disociación aumenta 8 veces. De esta manera en los climas más cálidos los procesos de meteorización son más profundos y acelerados.

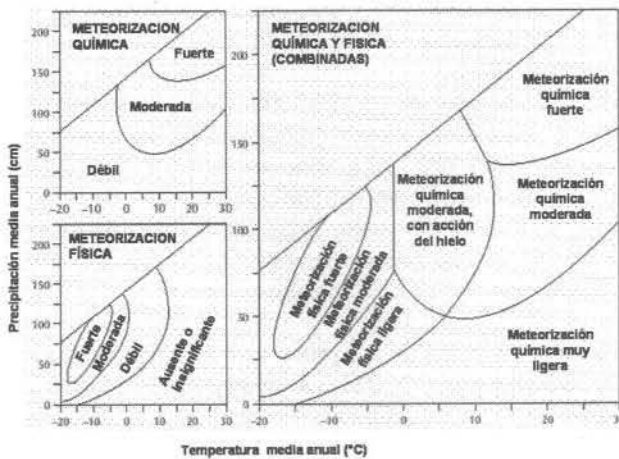


Figura 1-5. Gráficos de Peltier adaptados, que relacionan tasas de meteorización física y química a temperatura y precipitaciones medias anuales (Huggett, 2007).

En Chile, el clima ha determinado la dirección de la pedogénesis en diversas situaciones. El ejemplo más claro proviene nuevamente de las cenizas volcánicas, de amplia distribución a lo largo y ancho del país. Es así como las tefras que se han depositado en las regiones áridas del norte de Chile, no han tenido mayor evolución, de tal modo que los suelos siguen evidenciando las características de los materiales parentales, pues éstos no se han meteorizado lo suficiente para la formación de complejos humus-Al conjuntamente con minerales secundarios de baja cristalinidad. En las regiones de regímenes xéricos y arídicos, la baja cantidad de lluvia concentra la sílice, lo cual favorece la formación de haloisita a expensas de la alófana e imogolita (Takahashi *et al.*, 1993). Datos proporcionados por USDA, NRCS (Aburto *et al.*, 2008) señalan que en el suelo Pudahuel de la Región Metropolitana, formado a partir de pómez y cenizas volcánicas ácidas, a la haloisita como primer mineral dominante y mica como segundo mineral dominante en la fracción inferior a 2 micrones. En las regiones húmedas del sur del país (al sur de paralelo 37° LS), las tefras han evolucionado en otra dirección, y la meteorización ha llevado a la formación de minerales de baja cristalinidad (alófana, imogolita y ferrihidrita) conjuntamente con complejos humus-Al. La mayor disponibilidad de agua y el régimen adecuado de temperaturas ha determinado una cubierta vegetal abundante, con lo cual se han formado epipedones úmbricos y melánicos, llevando a la formación de Andisols típicos.

1.2.3 Organismos

Las enormes cantidades de energía que moviliza la fotosíntesis, la descomposición de la materia orgánica y la actividad de los microorganismos, proporcionan cambios drásticos en la pedogénesis. Sin embargo, sin agua, nutrientes y una adecuada temperatura, las reacciones biológicas no pueden actuar y sin ellas no se podrían generar transformaciones pedogénicas específicas.

Los ácidos orgánicos tienden a bajar el pH de la solución suelo, incrementando así la meteorización de los minerales; sin embargo la liberación de cationes que se produce durante la meteorización tiende a neutralizar la acidez. La cantidad de agua que percola y de cationes que son removidos determina el grado en que la meteorización tiene un efecto tampón en contra de la acidificación y determina la naturaleza de los minerales secundarios sintetizados (Chadwick and Graham, 2000).

Hasta una cierta cantidad, el aumento de precipitación lleva a una mayor producción neta de C, el cual a su vez, lleva a una mayor producción de materia orgánica y a un reciclaje más rápido de nutrientes (*op. cit.*). Así, los ecosistemas muy productivos promueven elevados niveles de CO₂, el que facilita la producción de ácidos orgánicos, lo cual lleva a bajar el pH de la solución suelo. Estas condiciones promueven elevadas tasas de meteorización que llevan asociadas una considerable liberación de nutrientes hasta que la reserva de minerales primarios se consume.

La temperatura controla tanto las tasas de los procesos biológicos como la síntesis de minerales a través de la meteorización. A 0°C o a temperaturas inferiores, existe muy poca agua disponible para reacciones químicas. En medios muy fríos predomina la desintegración física de las rocas y materiales parentales sobre las desintegraciones de origen químico.

Por cada 10°C de incremento de temperatura, las reacciones biológicas se duplican hasta que alcanzan el límite máximo de su función enzimática. Esto implica que, con todos los demás factores iguales, los suelos de las regiones tropicales recibirán más energía al año y se encontrarán más profundamente meteorizados que los suelos de regiones árticas (Van Wambeke, 1992). En el Cuadro 1-3 se resume el impacto de algunos organismos en las propiedades de los suelos.

Cuadro 1-3. Impactos potenciales de la biota en las propiedades y desarrollo de los suelos

| Componentes bióticos | Ejemplos seleccionados de impacto |
|--|---|
| Flora | |
| Formaciones vegetacionales | Contrastes en la secuencia de horizontes, profundidad del perfil, pH, mineralogía de arcilla, capacidad de intercambio catiónico, contenidos de MO y sesquióxidos, color y distribución de nutrientes en perfiles de interfases bosque-pradera o bosque conífero-bosque decíduo |
| Plantaciones de bosques | Micromorfología de hoyos y montículos resultante del volteo de árboles con incremento del flujo hídrico y acumulación de MO en los hoyos |
| Copa de árboles | Incremento en el aporte de materia y agua que escurre, goteo desde la copa, flujo cortical o caída de hojas, comparado con áreas abiertas; concentración de elementos en horizontes superficiales a través de biorreciclaje; efecto paraguas y protección del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia |
| Raíces de árboles | Acumulación de MO, acidificación/alcalinización, oxidación/reducción, liberación de CO ₂ e incremento de la meteorización a nivel de la rizósfera; flujo preferencial y lixiviación a lo largo de canales dejados por raíces; creación y estabilización de agregados y protección del suelo superficial contra la erosión |
| Empastadas | Secreción de sustancias minerales (fitolitos) |
| Líquenes y musgos | Rol en desintegración física y meteorización química de minerales y rocas en estados pedogénicos iniciales; complejación de metales por ácidos orgánicos excretados; atrapamiento de polvo atmosférico y acumulación en superficies estériles |
| Hongos | Descomposición de residuos orgánicos, mantillo y desechos lignificados; quelación de metales disueltos y disolución acelerada de minerales por exudados; estabilización de agregados |
| Algas, diatomeas | Fijación de N; desintegración de rocas y minerales; adición de sólidos en la forma de paredes celulares ricas en Si (suelos orgánicos) |
| Fauna | |
| Mamíferos mayores (vacunos, equinos) | Excavación de la superficie; compactación por migración o pastoreo del rebaño con una consecuente erosión acelerada por escorrentía |
| Mamíferos menores (roedores) | Excavación de grandes madrigueras con impactos en la infiltración, en el establecimiento de flujos preferenciales, en la formación de crotovinas y en el incremento de movimientos en masa; transporte selectivo de materiales a la superficie; disturbación de horizontes superficiales |
| Aves (pingüinos) | Alteración de los ciclos de C, N y P en la superficie del suelo (fecas, cáscaras de huevos y fragmentos de huesos); disturbación de horizontes superficiales por nidos; acidificación del suelo |
| Reptiles, anfibios | Disturbación de horizontes superficiales al cavar nidos; efecto de las redes de túneles en la infiltración |
| Insectos (hormigas, termitas) | Mezcla y alteración de horizontes; creación de extensas redes de poros e incremento de la conductividad hidráulica; cementación de materiales de suelo; incorporación de MO; fragmentación de materiales del mantillo; ordenamiento y segregación por tamaño de partículas de suelo; transporte selectivo de materiales a la superficie; creación de diversos tipos de microrelieve e incremento en el contenido de nutrientes (Ca, Mg, K, N, P) en éstos |
| Otros insectos (escarabajos) y arácnidos | Fragmentación de mantillo o litera; formación de madrigueras y canales pobremente conectados, resultando en vacíos en el suelo |
| Lombrices | Mejoramiento de la estructura y formación de agregados; mezcla de materiales y formación de horizontes A; creación de bioporos (infiltración y aireación); incremento en los contenidos de nutrientes y partículas finas; descomposición de mantillo fresco y desintegración de sustancias orgánicas; liberación de nódulos calcáreos; transporte selectivo de material a la superficie; mineralización de N |
| Bacteria, Actinomicetes | Descomposición de mantillo y escombros orgánicos; meteorización; oxidación y reducción de metales; reciclaje y transformaciones de macronutrientes (C, N, S, P) |

Si se considera al hombre como un organismo más que puede intervenir en la pedogénesis, no cabe duda que su acción es extraordinariamente relevante para la trayectoria de formación y desarrollo de los suelos. El Cuadro 1-4 incluye algunos efectos en los suelos ocasionados por el ser humano.

Cuadro 1-4. Ejemplos de modificaciones metapedogénicas o causadas por el hombre (Yaalon and Yaron, 1966; Bidwell and Hole, 1965)

| Manipulación | Proceso principal observado en el suelo |
|--|--|
| Rasgos topográficos | |
| Terrazas o nivelación de suelos | Reducción de la erosión; incremento en el contenido de humus; rejuvenecimiento de procesos pedogénicos; alteración de la diferenciación catenaria en laderas |
| Construcción de embalses | Interrupción de la sedimentación y lixiviación; ascenso de nivel freático; acumulación de sales |
| Drenaje de humedales y minería | Subsidencia de superficies |
| Factores hidrológicos | |
| Drenaje, disminución de nivel freático | Oxidación mejorada; formación de estructura; cambio de la permeabilidad |
| Plantación de cortavientos | Cambio en el régimen de humedad; alteración de la saturación básica, lixiviación de carbonatos |
| Dragado de bahías, puertos y humedales | Adición de materiales dragados a suelos no disturbados |
| Inundación de arrozales | Régimen hidromórfico; oxidación reducida; gleización |
| Cambio del ciclo hidrológico por siembra de nubes y riego | Incremento potencial de lixiviación o translocación; acumulación de sales solubles |
| Factores químicos | |
| Riego con agua sódica | Adsorción de sodio; degradación estructural; decrecimiento de la permeabilidad |
| Inundación deliberada de suelos (marling o warping) para depositar limo o arcilla desde cauces | Cambio textural de horizontes superiores; cambio del régimen de humedad; alteración de la saturación de bases |
| Factores de cultivo | |
| Deforestación y aradura de zonas templadas | Mezcla de horizontes superiores; cambios del pH; retardación de procesos (podzolización o despodzolización) |
| Deforestación y rotación de cultivos en trópicos | Erosión; deshidratación de óxidos de hierro |
| Sobrepastoreo | Erosión de horizontes superficiales; reducción de infiltración |

1.2.4 Relieve

En la formación y evolución de los suelos, el patrón de drenaje gobierna fuertemente el flujo de masa y de energía de los sistemas. Cuando las redes de drenajes son cerradas, tanto los componentes químicos como los productos de erosión se distribuyen hacia áreas depresivas locales próximas. En cambio, en los drenajes abiertos la dispersión de esos componentes se produce hacia otras áreas externas. Por lo tanto, las diferencias en las redes de drenaje (Figura 1-6) están directamente relacionadas con el paisaje (relieve) y, de esta manera, definen el régimen de humedad y temperatura de los suelos.

Estos factores esenciales del relieve determinarán la dirección de la evolución pedogénica que sigan materiales parentales de igual litología. No solamente el clima sino además las condiciones del paisaje y el relieve en las que se encuentran los materiales de origen, definirán las características y propiedades finales de los suelos.

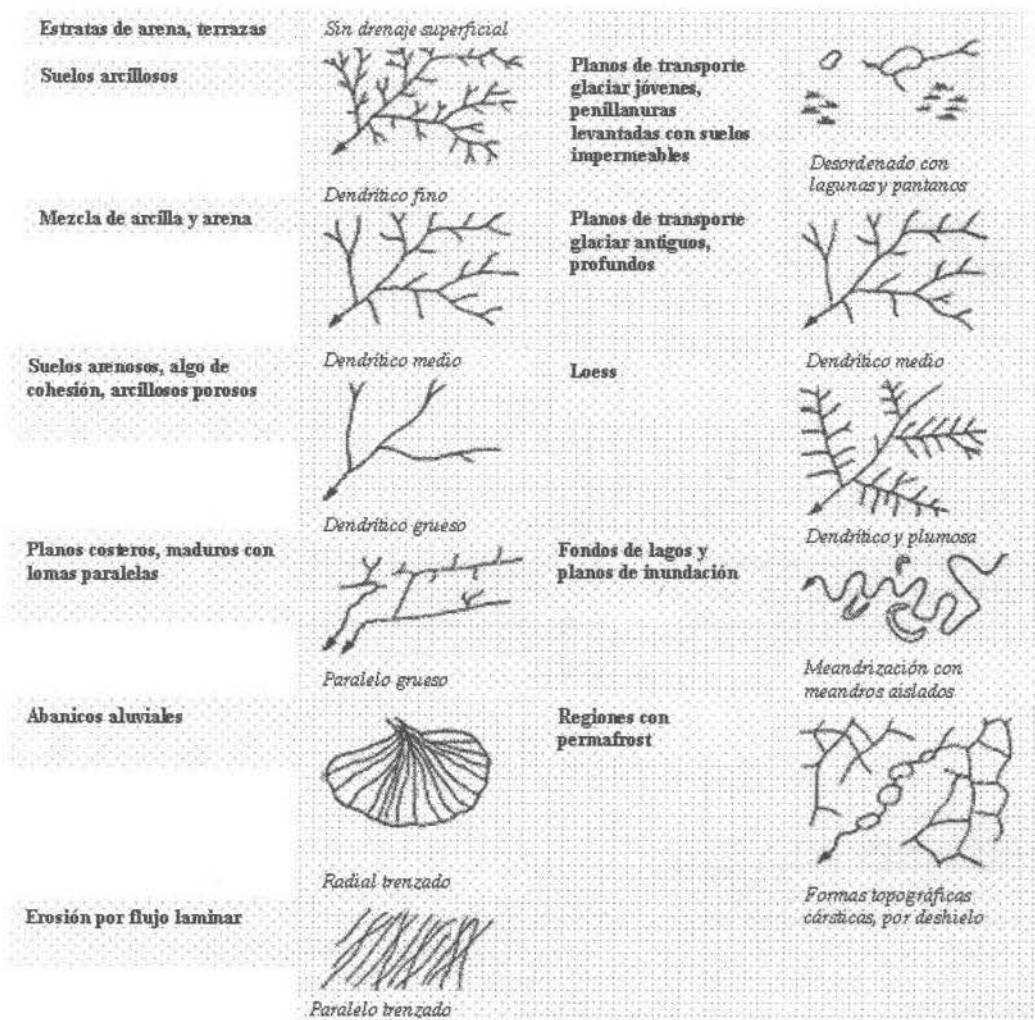


Figura 1-6. Patrones de drenaje más comunes y algunos ejemplos asociados a formaciones o suelos.

La posición topográfica local puede modificar los ingresos de energía solar y de las precipitaciones, en el caso de regiones de relieves pronunciados. El contenido de agua en el suelo no es el mismo en las posiciones altas que en las posiciones bajas, lo cual tiene impacto en el tipo de vegetación y en la productividad del sitio.

El relieve, como factor de formación de suelos, tiene su papel más importante en la distribución del agua en el interior del suelo, de tal manera que los patrones de distribución de los suelos en el paisaje seguirán una relación catenaria, lo cual permite describir y predecir la ocurrencia de determinados suelos. Normalmente al referirse al relieve y en particular la pendiente, se recurre a numerosos atributos (Cuadro 1-5), pero principalmente se hace referencia a la *gradiente*, la *exposición o aspecto*, la *forma (curvatura)*, la *complejidad*, la *posición en la pendiente* y la *posición geomorfológica*.

Cuadro 1-5. Atributos primarios y secundarios del relieve (adaptado de Huggett and Cheesman, 2002)

| <i>Atributo</i> | <i>Definición</i> | <i>Aplicaciones</i> |
|------------------------------|---|---|
| Atributos primarios | | |
| <i>Altitud</i> | Altura sobre el nivel del mar | Variables climáticas (ej. presión, temperatura), patrones de vegetación y suelo, cálculos de volumen de materiales (cortes y rellenos) y de visibilidad, determinación de energía potencial |
| <i>Cota</i> | Altura sobre un plano horizontal de referencia arbitrario | |
| <i>Gradiente</i> | Tasa de cambio de la elevación | Inclinación, flujo superficial y subsuperficial, resistencia al transporte en ascenso, geomorfología, contenido de agua del suelo |
| <i>Aspecto</i> | Orientación de la inclinación o vertiente (brújula), azimut de la vertiente | Insolación e irradiación, evapotranspiración |
| <i>Curvatura de perfil</i> | Tasa de cambio de la gradiente. Componente longitudinal de la ladera | Aceleración del flujo, tasa y patrones de erosión / depositación, indicador de evaluación de suelos y tierras, clasificación de unidades de terreno |
| <i>Curvatura de plano</i> | Tasa de cambio del aspecto. Componente transversal de la ladera | Flujo convergente y divergente, características del agua en el suelo, clasificación de unidades de terreno |
| <i>Complejidad</i> | Uniformidad o irregularidad relativa de la pendiente | Simple o compleja, flujo superficial, contenido de agua del suelo |
| Atributos secundarios | | |
| <i>Índice de humedad</i> | $I_n = A_s / \tan b$ donde A_s es específico para cada cuenca y b es la gradiente | Indicador de retención de agua. |
| <i>Irradiación</i> | Cantidad de energía solar recibida por unidad de área | Estudios de suelo y vegetación, evapotranspiración |

La *gradiente* es una expresión de la energía potencial que estimula los flujos de masas y la fuerza erosiva del escurrimiento superficial en una pendiente. La *exposición o aspecto* determina la cantidad de radiación solar que recibe la superficie del suelo y, por lo tanto, afecta directamente a los organismos. La *forma* de la pendiente influencia el movimiento lateral del agua a través de la superficie y el movimiento del agua hacia el interior del suelo. La *complejidad* se refiere a las irregularidades que pueda tener una pendiente. Así, una pendiente simple y suave tiene pocas obstrucciones al flujo del agua y, por lo tanto, hay menos oportunidades para procesos de sedimentación, excepto en la base de la pendiente.

Una pendiente se puede dividir en varios segmentos a través de una sección transversal a lo largo de ella, lo cual identifica la *posición*. La posición que ocupa un suelo en una determinada pendiente, tiene influencia en las condiciones de drenaje de ese suelo y, por lo tanto, en la mayor o menor disponibilidad de agua que puede afectar a los procesos pedogénicos (Figura 1-7).

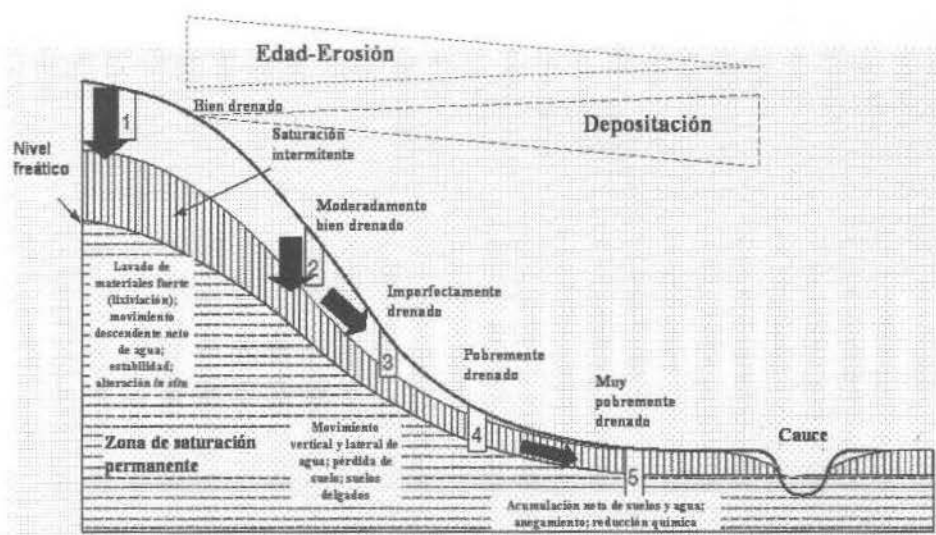


Figura 1-7. Visión bidimensional que muestra una secuencia hidrológica idealizada de suelos formados bajo la influencia del relieve.

La subdivisión más aceptada en la actualidad, entre varias, es aquella que divide la pendiente en: *cumbre*, *hombreda*, *sector de transporte*, *pié de la pendiente* y *punta de la pendiente* (Figura 1-8). Además de los elementos bidimensionales señalados, es necesario considerar también segmentos tridimensionales del paisaje, relacionados con la geomorfología de los suelos, con lo cual se hace referencia a la *posición geomorfológica* donde se ubican los suelos. En general, en Chile los agentes modeladores del paisaje han sido principalmente la gravedad, el agua y el hielo, determinando que el origen de los suelos sea principalmente coluvial, aluvial y glacial. Las figuras 1-9 y 1-10 (Huggett, 2007; Huggett and Cheesman, 2002; Trenhaile, 1998) constituyen ejemplos de posiciones geomorfológicas en que es posible encontrar los suelos en el país.

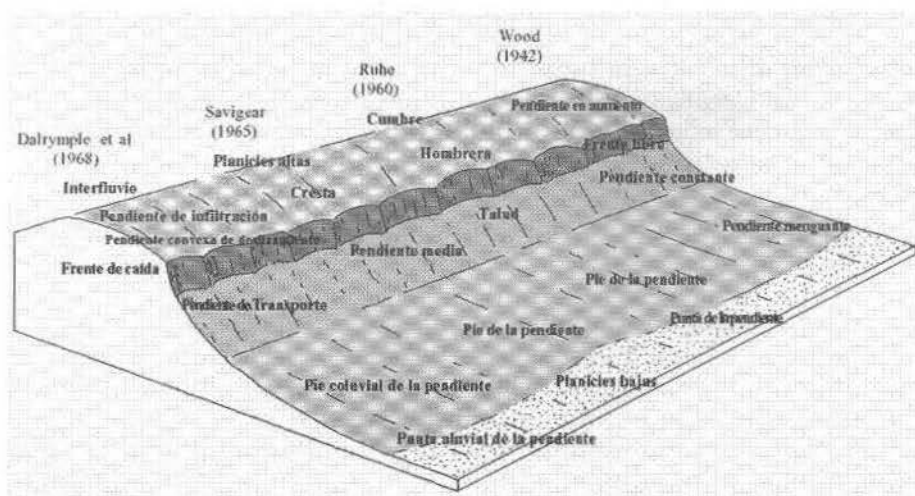


Figura 1-8. Visión tridimensional de los elementos de una ladera según varios autores (Huggett, 2007).

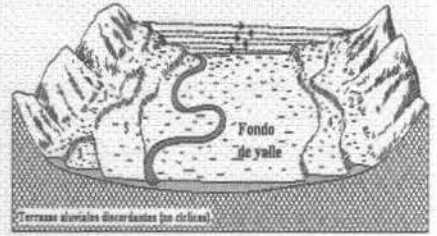
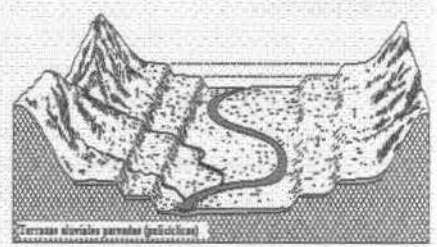
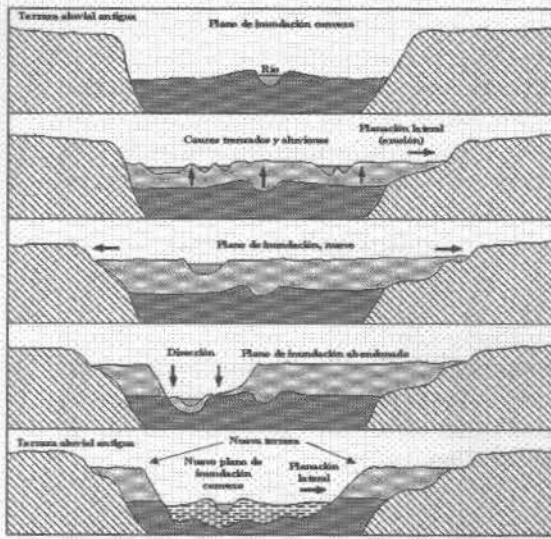


Figura 1-9. Formación de terrazas aluviales (Huggett and Cheesman, 2002).

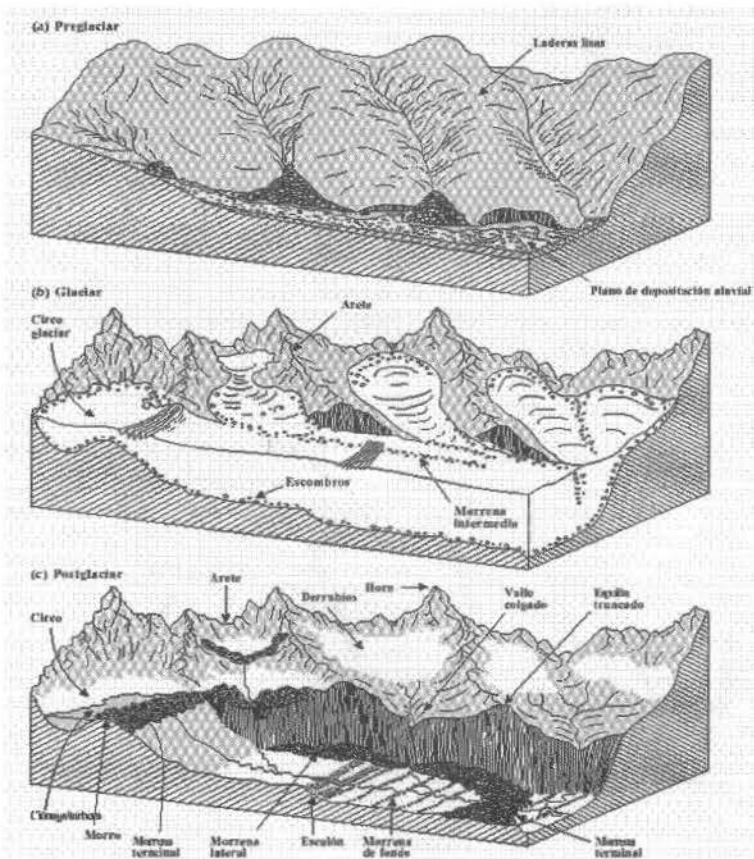


Figura 1-10. Evolución de paisajes glaciares. (a) Antes del hielo. (b) El mismo paisaje con hielo. (c) Después del hielo (Trenhaile, 1998).

1.2.5 Tiempo

La formación de un suelo muy rara vez corresponde a un conjunto de procesos unidireccionales a través del tiempo. Las más insignificantes modificaciones en el medio resultan en reajustes constantes del sistema. Mientras mayores sean las modificaciones del medio, mayores serán los ajustes en todos los sistemas que guían la pedogénesis, como por ejemplo cambios en el clima que implican cambios en el nivel del mar, procesos tectónicos o volcánicos, o bien modificaciones de la biota. De esta forma períodos de estabilidad pedogénica se alternan con períodos de inestabilidad del paisaje (Yaalon, 1983).

En muchas circunstancias se producen eventos geológicos que entierran suelos. Este proceso generalmente altera los rasgos de los suelos, sin embargo aquellos que se conservan proporcionan las mejores evidencias de las condiciones pasadas del medio y de las alteraciones que han sufrido los paisajes (Yaalon, 1983).

En cualquier región o paisaje el patrón de los suelos es siempre complejo. De esta manera, el paisaje está compuesto por suelos que se aproximan a su *estado estable* conjuntamente con otros suelos que no tienden hacia ese estado. Por esta razón, es muy frecuente que coexistan suelos monogenéticos al lado de suelos poligenéticos, siendo estos últimos los que mayor información entregan acerca de las condiciones anteriores del medio, aun cuando las diferentes fases climáticas pueden no ser fácilmente identificadas en ellos. Si bien no hay consenso respecto a dicha teoría del *estado estable*, argumentándose que el suelo está en permanente evolución, parece claro que en sus etapas finales el suelo evoluciona tan lentamente que sus cambios se pueden considerar como poco significativos.

Es evidente que ciertas propiedades alcanzan su equilibrio en períodos cortos de tiempo (por ejemplo cientos de años para el contenido en materia orgánica y el lavado de carbonatos), mientras que otras requieren de decenas de miles de años (la translocación de arcilla). En este sentido Birkeland (1984) precisa que los distintos horizontes necesitan de tiempos muy diferentes para su formación (Figura 1-11).

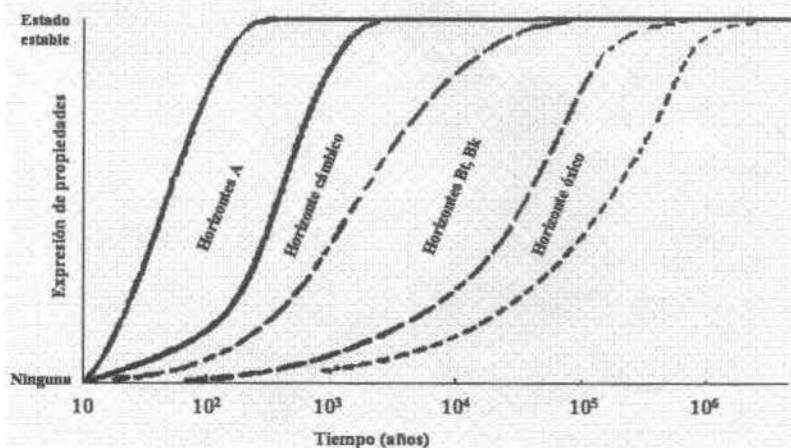


Figura 1-11. Esquema de tiempo requerido por diversos horizontes para alcanzar un estado estable.

El suelo sufre modificaciones con el tiempo, aunque el cambio no es causado por el tiempo. La variación temporal del suelo puede ser determinada a variadas escalas de tiempo y es impulsada por factores naturales, de uso y manejo realizado por el hombre, o por el impacto combinado de éstos. No obstante, la creciente influencia del hombre ha alterado dramáticamente el tipo, intensidad y la tasa de cambio para muchos suelos, de tal manera que se debe diferenciar las escalas de tiempo, como un factor de formación de suelos, al momento de considerarle en la ecuación original de Jenny:

$$S = f(\text{cl}, \text{p}, \text{o}, \text{r}, \text{t}_p, \text{t}_h)$$

donde t_p es el tiempo a escala pedogénica y t_h es el tiempo a escala humana. Esta idea ha sido confirmada y precisada gráficamente por varios autores, tales como Tugel *et al.* (2005) y Richter (2007), tal como se muestra en la Figura 1-12.

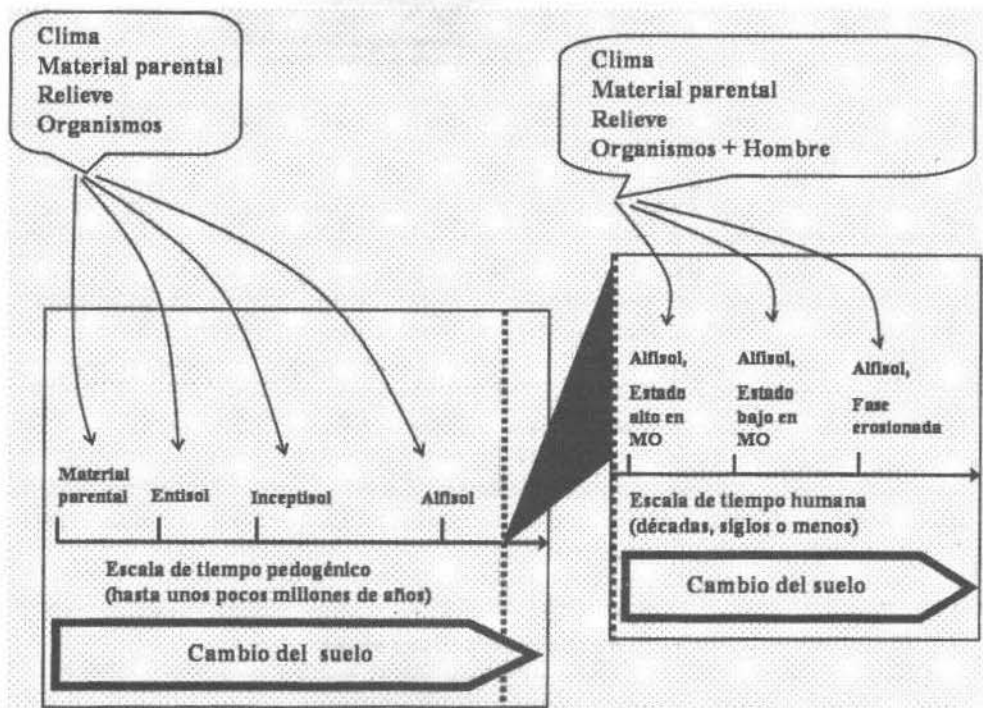


Figura 1-12. Ejemplo de escalas relativas de cambios en el suelo (Tugel *et al.*, 2005).

Los factores convencionales son complementados por otros adicionales, en grupos que están relacionados con los cuatro grandes reservorios de la superficie del planeta que interactúan para producir el suelo o Pedósfera. La Figura 1-13 destaca claramente la falta de independencia antes indicada de los diversos factores, y la importancia de la retroalimentación entre ellos. El tiempo, que puede ser el único factor independiente, es representado como una trayectoria a lo largo de la cual el marco tetraedral se mueve y cambia.

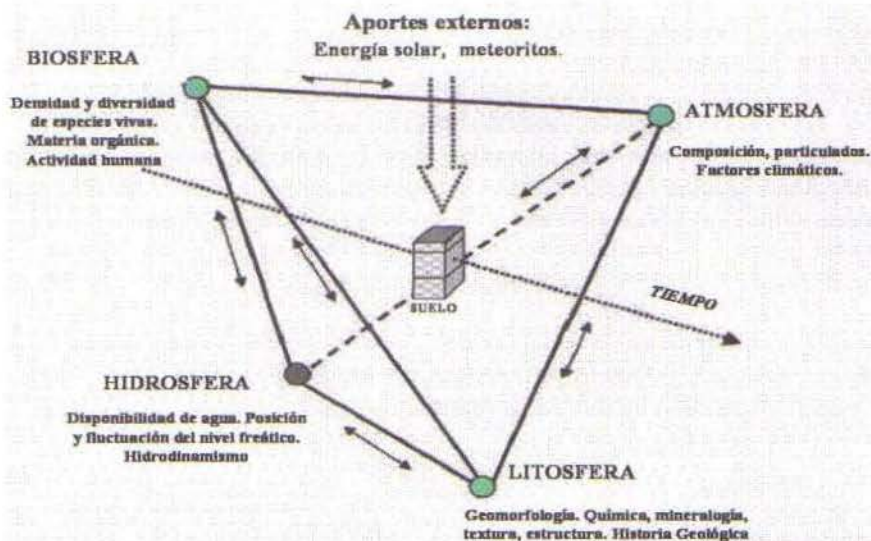


Figura 1-13. Factores atmosféricos, hidrosféricos, litosféricos y biosféricos que afectan la formación de suelo (García Paz y Tabeada-Rodríguez, 2008).

Si bien la ecuación de Jenny considera al suelo como una caja negra susceptible de formalizarse mediante el análisis de sus factores formadores, el sistema suelo también puede conceptualizarse como un modelo de caja al menos gris. Para Simonson (1995), los cambios que sufre un suelo durante su evolución son función de las adiciones, sustracciones o pérdidas, transferencias o translocaciones, y transformaciones de materia en el sistema, lo que en términos de una ecuación podría corresponder a:

$$S = f(\text{adiciones, sustracciones, transferencias, transformaciones})$$

Se puede concluir que se trata de dos concepciones complementarias del sistema edáfico. Así, los **Factores de Formación del Suelo** son los que controlan el accionar de los **Procesos Pedogénicos**, tanto en su tipo como en su intensidad.

1.3 Procesos pedogénicos

Bockheim and Gennadiyev (2000) en una extensa revisión de la literatura y de modelos predictivos, relacionados a procesos de formación de suelos, reconocen la existencia de tres niveles de generalización. El nivel más alto considera los 4 procesos macros que destacan a los suelos de otros subsistemas de la biosfera: adiciones o ganancias, pérdidas o sustracciones, transferencias o translocaciones y transformaciones (Figura 1-14). El segundo nivel es dependiente de los procesos anteriores, pero con referencia a procesos específicos o secundarios. El tercer nivel enfatiza numerosos microprocesos químicos, físicos o biológicos tales como fijación de nitrógeno, oxidación y reducción de hierro y aluminio, sustituciones iónicas.

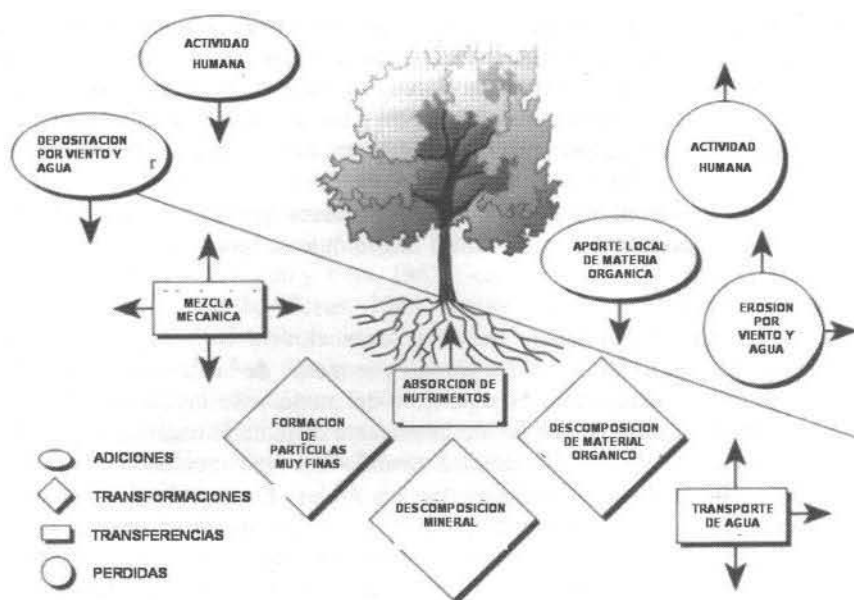


Figura 1-14. Expresión gráfica de los procesos pedogénicos o de formación de suelos.

Es así como cada taxón, horizonte diagnóstico, propiedad de diagnóstico o material diagnóstico puede ser descrito por un proceso de formación de suelo dominante y específico, el que puede ser definido a través de rasgos objetivos y mensurables, cuyos límites son ampliamente aceptados.

Desde el punto de vista de la pedogénesis, las condiciones contrastantes de exceso de agua y sequía favorecen a los procesos de *translocaciones* en el suelo. En medios húmedos bien drenados, las soluciones suelo muy diluidas llevan a gradientes químicos muy fuertes, meteorización intensa, lixiviación muy efectiva de los componentes solubles (cationes básicos y ácido silícico) y una síntesis de minerales secundarios que involucra a los componentes menos solubles (óxidos e hidróxidos de Fe y Al y minerales kandíticos). En condiciones de humedad permanente, sin saturación, se favorecen las *transformaciones* y las *pérdidas*, con lo cual se afectan los procesos relacionados a la fracción orgánica y biótica del suelo. Esta situación caracteriza a la mayor parte de los suelos que se encuentran al sur de paralelo 38° LS, particularmente a los suelos derivados de materiales Pleistocénicos, sean éstos tefras muy antiguas o depósitos fluvio-glaciales. Como ejemplo, se puede mencionar la Serie Cudico (X Región) cuya mineralogía está dominada por haloisita y caolinita y cuya saturación de bases no es superior a 6,5% (Luzio *et al.*, 2003).

En un medio árido, la solución suelo frecuentemente contiene gran concentración de iones, derivando en gradientes químicos pequeños asociados a pequeñas distancias de lixiviación y sólo para los iones más solubles. De esta manera, al existir una solución suelo más concentrada en los iones provenientes de la meteorización de los materiales parentales, existe la posibilidad de formación de minerales secundarios más complejos, pero al mismo tiempo, puede producirse una síntesis de minerales secundarios dominados por sales, tales como calcita, yeso o halita. Luzio *et al.* (2002a), en investigaciones realizadas en regiones áridas, encontraron suelos con bajas

concentraciones de iones, aún cuando con altas saturaciones de bases. Los suelos que no son salinos y no sódicos pueden tener saturaciones de bases tan bajas como 50%. Estos resultados demuestran que en las regiones áridas, las características de los suelos pueden ser variables, pues están sujetas a las condiciones locales de topografía, materiales de origen o las redes de drenaje, que pueden modificar profundamente sus propiedades.

Se analizan, a continuación, las cuatro clases de procesos que influyen en la formación de los suelos y que definen las propiedades morfológicas, químicas y físico-químicas que ellos exhiben.

Adiciones: La principal adición normal a los suelos la constituyen los residuos orgánicos, cuya fuente primaria son las plantas por medio de las hojas, las ramas y las partes florales que se adicionan a la superficie del suelo y se incorporan a su masa. También las raíces constituyen una fuente importante de materia orgánica, las cuales se adicionan directamente dentro del suelo a medida que van creciendo. Este tipo de procesos son mínimos en las zonas desérticas y áridas. En cambio, los solutos y el material particulado que pasa a incorporarse a los suelos directamente desde la atmósfera (Simonson, 1995) o bien por movimientos superficiales desde sitios más elevados de la topografía (Paton *et al.*, 1995), pueden llegar a ser significativos en esta clase de suelos. Cuando las adiciones son de importancia y se producen en forma rápida (tiempo pedogénico), los suelos preexistentes pueden quedar enterrados y, a partir de los nuevos materiales adicionados, se desarrolla un nuevo suelo.

Sustracciones: Las pérdidas de masa en los suelos se pueden producir por erosión eólica o hídrica en la superficie o por lixiviación de componentes solubles y en estado coloidal, ya sea en profundidad o lateralmente, a causa del movimiento del agua en el perfil. Como el concepto de sustracciones supone la pérdida completa de un componente del sistema suelo, proceso generalmente conocido como *lixiviación*, sólo ocurre cuando existe un exceso de agua y un flujo neto vertical a través del espacio poroso. Este exceso de agua traslada el o los componentes hacia abajo en el perfil, o los elimina completamente del suelo. Los cationes que están sujetos a este proceso son Na^+ , Ca^{++} , K^+ y Mg^{++} , de tal manera que la acidez del suelo se incrementa. Entre los aniones que se lixivian el más importante es HCO_3^- y en menor proporción NO_3^- y SO_4^- . En condiciones aeróbicas, se pueden lixiviar cantidades muy pequeñas de Fe, de tal forma que tiende a existir un enriquecimiento residual de Fe y Al en el suelo a causa de la lixiviación de los demás componentes. En condiciones anaeróbicas, el Fe y el Mn se pueden lixiviar debido a que sus formas reducidas son más solubles. Es evidente que en suelos de regiones áridas no existe este tipo de flujo, por lo tanto tiende a existir una mayor acumulación o concentración de sus componentes, de tal manera que cationes básicos se acumulan en la parte inferior de los perfiles en forma de sales solubles o semisolubles. El balance entre los procesos de adiciones y de sustracciones para esta clase de suelos es positivo, en el sentido que la acumulación es mayor que la pérdida de componentes, a causa de la lixiviación restringida o nula para estas regiones. Este proceso determina que exista una mayor cantidad de componentes disponibles para la formación de estructuras secundarias más complejas. Sin embargo, la formación de minerales secundarios complejos requiere, además del balance positivo señalado, la presencia de los otros factores que intervienen en la pedogénesis en cantidad e intensidad precisas, tales como los materiales parentales adecuados, los regímenes de temperatura o la combinación de ellos, las condiciones del relieve, a nivel general y local, además del tiempo necesario para que se produzcan las interacciones necesarias.

Transferencias/translocaciones: En los procesos de translocación, el agua es el agente principal y el proceso puede ser considerado como una lixiviación restringida o más lenta. Esta restricción puede deberse a precipitaciones marcadamente estacionales o de bajo monto, o a la presencia de algún impedimento que reduce la velocidad de percolación del agua. Las translocaciones en ambientes húmedos normalmente ocurren por el flujo neto del agua hacia abajo en el perfil del suelo. En ambientes áridos el flujo puede ser descendente, pero también las sales pueden ser llevadas a la superficie por capilaridad, en respuesta a la evaporación. De acuerdo a varios autores (Díaz y Wright, 1965; Luzio *et al.*, 1978; Luzio y Vera, 1982; Sociedad Agrícola CORFO – Universidad de Chile, 1982a y 1982b; Flores, 1983; Luzio, 1990) estos procesos llevan a la generación de zonas de empobrecimiento en coloides dentro del perfil, tal como ocurre con la formación de los horizontes E; también conducen a formar zonas de enriquecimiento en coloides, como sucede con la formación de diferentes tipos de horizonte B: de acumulación de arcilla silicatadas (B_t , argílico), con acumulación de carbonatos (B_k , cálcico, B_{km} , petrocálcico) y con acumulación y endurecimiento de sílice (B_{qm} , duripán).

La presencia de horizontes de lixiviación de componentes (B_t , B_k , B_{km} , B_{qm}) en suelos de zonas áridas, debería estar relacionada con la existencia de paleoclimas cuaternarios, los cuales han sido estudiados y datados en diferentes continentes (Flores, 1983). Incluso se han descrito procesos pedogénicos más intensos, tales como los de rubefacción en regiones desérticas (Fauck, 1978). De acuerdo con Wysocki *et al.* (2000), un paleosuelo relictivo debiera haber resistido una o más modificaciones en el clima regional o en las condiciones ambientales locales, de tal manera que ya no se encuentra en equilibrio con las condiciones existentes en la actualidad. Este concepto requiere conocer la edad de los paisajes o bien, que ésta se pueda inferir, con el fin de poder explicar con claridad las características morfológicas actuales (Chadwick and Graham, 2000). A este nivel, sólo se puede presuponer que las condiciones climáticas holocénicas no permitirían la generación de rasgos de lixiviación que deriven en una morfología de suelos de mayor desarrollo pedogénico.

Transformaciones: La materia orgánica que se adiciona a los suelos sufre grandes transformaciones por efecto de los microorganismos del suelo, cuyo resultado lo constituye la formación de humus, considerado como un componente estable en el suelo. La meteorización de los minerales de las rocas parentales proporciona no sólo nutrientes para la actividad biológica, sino también constituyen los cimientos para la síntesis de minerales secundarios. En climas húmedos y condiciones de suelos bien drenados, donde la lixiviación es máxima, la formación de minerales secundarios está caracterizada por la síntesis de arcilla silicatadas y óxidos e hidróxidos de Fe y Al. En medios áridos, la lixiviación es despreciable de tal manera que cationes básicos se acumulan en la parte inferior de los perfiles en forma de sales solubles o semi solubles.

Algunas transformaciones que ocurren en la mayoría de los suelos afectan principalmente a los minerales del suelo, los cuales son susceptibles de sufrir hidrólisis, proceso que los transforma *in situ* en diversas clases de minerales secundarios.

La Figura 1-15, vincula esquemáticamente los procesos de formación antes señalados con los 12 órdenes de la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2006), en términos de los cambios en la entropía (ΔS) debidos a estos procesos. La pedoturbación en Vertisols,



por ejemplo, debido a la contracción-dilatación de las arcillas, incrementa la aleatoriedad espacial de los componentes del sistema suelo y consecuentemente se le asigna un ΔS positivo (entropía agregada). En cambio, en Ultisols, los procesos de iluviación-eluviación que tienden a ordenar los componentes se les asigna un ΔS negativo (entropía sustraída). Así, la contribución relativa de los procesos de formación de suelo en forma ponderada, resulta en un ΔS neto de los suelos de cada orden individual (Smeck *et al.*, 1983).

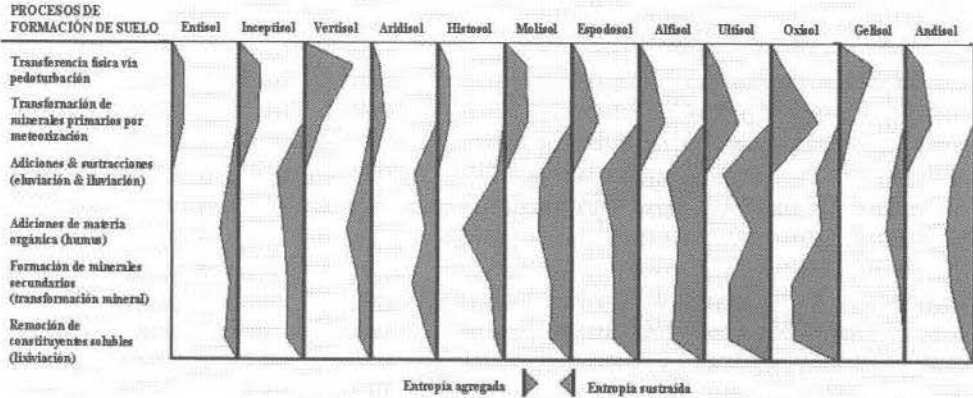


Figura 1-15. Procesos de formación de suelos asociados a los órdenes de Soil Taxonomy (Schaeztl y Anderson, 2005).

Se puede concluir que la pedogénesis resulta en una reducción de la entropía, en distintos grados, para la mayoría de los suelos (excepto Vertisols), debido al desarrollo de procesos de horizonación.

Con relación a procesos específicos de formación de suelos, Bockheim and Gennadiyev (2000) y Targulian (2005) identifican al menos 17 de ellos (Cuadro 1-6), vinculándolos con horizontes de diagnóstico, propiedades y materiales al más alto nivel de clasificación, tanto para la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2006) como para la Base de Referencia Mundial (IUSS Working Group WRB, 2006).

Cuadro 1-6. Procesos específicos de formación de suelos

| Proceso | Descripción |
|--|--|
| Lessivage o Argiluviación | Translocación descendente de arcilla hacia horizontes subsuperficiales |
| Reciclaje biogeoquímico | Enriquecimiento biológico del suelo en cationes básicos o por fertilización |
| Andisolización | Formación de productos de meteorización amorfos fértiles, de baja densidad y elevada porosidad, a partir de cenizas volcánicas vítreas |
| Paludización o Formación de turba (peat) | Acumulación de desechos orgánicos pobremente descompuestos en la superficie del suelo en condiciones aeróbicas |
| Gleización o hidromorfismo | Alteraciones redoximórficas: particularmente reducción química de Fe y Mn como resultado de un anegamiento |
| Melanización | Oscurecimiento del suelo como resultado de un incremento en el contenido de compuestos húmicos |
| Ferralitización | Transformación de material suelo <i>in situ</i> , con fuerte desilicatación, formación de arcillas 1:1 e incremento de la dominancia de sesquióxido de Fe y Al |
| Fersialitización | Transformación de material suelo <i>in situ</i> , con moderada desilicatación, formación de arcillas 2:1 |
| Podzolización | Lavado en condiciones ácidas de Fe, Al y humus disueltos, más cierta destrucción de arcilla con una consecuente precipitación en horizontes subsuperficiales |
| Lixiviación | Lavado de cationes básicos (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) |
| Vertización o vertisolización | Agrietamiento profundo de suelos arcillosos como resultado de humedecimiento-desecamiento |
| Pedoturbación | Alteración del suelo por acción del hielo (crioturbación), de agentes bióticos (bioturbación) o arcillas expandibles (vertiturbación) |
| Salinización | Acumulación de sales solubles |
| Calcificación | Acumulación de carbonatos como dolomita y calcita baja en Mg |
| Solonización | Acumulación de sodio y otros álcalis en arcillas, a menudo formando estructura columnar |
| Solodización | Acumulación subsuperficial de sodio y otros álcalis en arcillas, con acidificación superficial, formando columnas blanquecinas y truncadas |
| Cementación | Consolidación de material suelo con sílice, tal como calcedonia y ópalo (silicificación), u otro compuesto (Fe, Ca) |
| Antrosolización | Alteración del suelo por actividad humana |

1.4 Fundamentos de clasificación de suelos

Para estos propósitos, se describen solamente, en términos generales, los dos sistemas más empleados, la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2006) y la Base Referencial de Suelos del Mundo (IUSS Working Group WRB, 2006). Información más detallada se puede encontrar en Luzzio y Casanova (2006), o bien en los textos originales mencionados.

Un sistema de clasificación de suelos tiene que basarse en las propiedades químicas, físicas y morfológicas de los suelos, además de los principios de la génesis de ellos, de tal manera que sea capaz de proporcionar predicciones acerca del comportamiento y de las respuestas al manejo y a las manipulaciones que pueda sufrir. Se considera que los principios de la génesis de suelos son básicos para las extrapolaciones espaciales y un complemento para la interpretación que pueda hacerse sobre los usos de los suelos, debido a que esta disciplina establece relaciones de causa-efecto y no identifica, exclusivamente, relaciones empíricas.

El sistema debe ser aplicado de una manera uniforme por edafólogos competentes. Debe ser lo suficientemente objetivo, de tal manera que sólo se base en las propiedades de los suelos y no en las percepciones del especialista. Cada taxa debe ser definida o reconocida a través de propiedades seleccionadas que agrupen a suelos de génesis

similar, pero también esas taxa deben proporcionar grupos con propiedades similares aun cuando su génesis sea incierta o desconocida. La génesis del suelo debería ayudar a seleccionar aquellas propiedades que pueden proporcionar grupos de suelos útiles y coherentes. Sin embargo, las propiedades de los suelos, en sí mismas, deben constituir el criterio básico para la clasificación.

1.4.1 Regímenes de humedad de los suelos

El término *regímenes de humedad de los suelos* se refiere a la presencia o ausencia de nivel freático o de agua retenida a una tensión inferior a 1.500 kPa en el suelo o en un horizonte específico durante algunos periodos del año. El agua retenida a tensiones superiores a 1.500 kPa no está disponible para la mayoría de las plantas mesofíticas. Puede suceder que un suelo esté saturado y además sea salino, de tal manera que el agua no está disponible para las plantas; en este caso se considera como salino y no como seco. Por lo tanto un horizonte se considera como seco cuando el agua está retenida a tensiones de 1.500 kPa o más, y se considera húmedo cuando el agua está retenida a tensiones inferiores a 1.500 kPa, pero superiores a 0. Un suelo puede estar húmedo continuamente, en uno o más horizontes, a través del año o en alguna parte del año. Puede estar húmedo en invierno y seco en verano y viceversa.

A través de los tiempos geológicos han existido cambios significativos en el clima, de tal manera que suelos que se pudieron haber formado en climas húmedos, en la actualidad se encuentran en climas áridos y preservan rasgos relictos que reflejan el régimen de humedad anterior, conjuntamente con rasgos que responden al régimen actual. El régimen de humedad del suelo es sólo parcialmente función del clima. Suelos de regiones áridas no son necesariamente secos; pueden ser secos, húmedos o saturados, dependiendo de la posición en el paisaje, debido a que pueden recibir agua desde fuentes diferentes a la lluvia directa, tales como escurrimiento superficial, derretimiento de nieve, niveles freáticos o incluso fuentes artesianas.

Las definiciones resumidas de los regímenes de humedad que se dan a continuación, corresponden a las definidas por Soil Survey Staff (2006).

Régimen ácuico. El régimen de humedad ácuico es un régimen de reducción, en el cual prácticamente no hay oxígeno disuelto a causa de la saturación con agua. Se considera que algunos suelos no tienen régimen ácuico, aun cuando se encuentren saturados con agua, debido a que el agua se encuentra en movimiento o debido a que el medio no es favorable para los microorganismos (ej.: si las temperaturas son inferiores a 1° C). No se ha determinado cuanto tiempo el suelo debe estar saturado para que se le considere que tiene régimen ácuico, pero se estima que debe ser de algunos días, debido a que está implícito en el concepto que no hay oxígeno disuelto. Algunos suelos con régimen de humedad ácuico pueden tener también régimen de humedad xérico, ústico o arídico. En la Taxonomía el elemento formativo *aqu* se refiere a las *condiciones ácuicas* y no al régimen de humedad ácuico (Soil Survey Staff, 2006).

Régimen arídico y tórrico. En el régimen arídico (tórrico), la Sección de Control de Humedad (SCH) en años normales requiere las siguientes condiciones:

- Debe estar seca por más de la mitad de los días acumulativos en que la temperatura del suelo se encuentra sobre 5°C; y
- Debe estar húmeda en alguna parte por menos de 90 días consecutivos cuando la temperatura del suelo está por sobre 8°C.

Estos suelos se presentan en climas áridos; algunos se encuentran en regiones semiáridas y poseen ciertas características que los mantienen secos. En este régimen no hay lixiviación y, si existe una fuente de sales solubles, ella se acumula en el suelo. Los límites de temperatura del suelo excluyen al régimen arídico de las regiones polares muy frías y a las áreas de gran elevación. Se considera que esos suelos tienen condiciones anhidras.

Régimen ústico. El régimen de humedad ústico es intermedio entre el arídico y el údico. El concepto de ústico requiere un régimen con humedad limitada, pero que está presente en los momentos adecuados para el crecimiento de los cultivos. El concepto de ústico no se aplica a suelos que tienen permafrost o un régimen de temperatura críico.

Si la Temperatura Media Anual del Suelo (TMAS) es $\geq 22^{\circ}\text{C}$, o si la Temperatura Media del Verano (TMV) y la Temperatura Media del Invierno (TMI) difieren en menos de 6°C , la SCH está seca en alguna parte por 90 días o más acumulativos en años normales. Está húmeda por más de 180 días acumulativos por año o por 90 días consecutivos o más. Si la TMAS es inferior a 22°C y la TMV y la TMI difieren en 6°C o más, la sección de control está seca por 90 días acumulativos o más, pero no está seca por más de la mitad de los días acumulativos, cuando la temperatura del suelo es superior a 5°C . En años normales, la SCH está húmeda por 45 días consecutivos o más durante los 4 meses siguientes al solsticio de invierno (22 de junio), y está seca por menos de 45 días durante los cuatro meses siguientes al solsticio de verano (21 de diciembre).

Régimen údico. En el régimen de humedad údico, la SCH no está seca en ninguna parte por 90 días acumulativos en años normales. Si la TMAS es $< 22^{\circ}\text{C}$ y la TMI y la TMV difieren en 6°C o más, la SCH está seca por menos de 45 días consecutivos en los cuatro meses siguientes al solsticio de verano. El régimen údico es característico de suelos de zonas húmedas con lluvias bien distribuidas, con suficiente lluvia en verano, de manera tal que el agua disponible iguala o excede la evapotranspiración. En años normales el agua se mueve en profundidad a través del suelo.

Régimen xérico. El régimen de humedad xérico caracteriza a áreas con clima de tipo mediterráneo, es decir, inviernos fríos y húmedos y veranos cálidos y secos. La lluvia que cae en invierno, cuando el potencial de evapotranspiración se encuentra en su mínimo, es muy efectiva para lixiviar. La SCH se encuentra seca por 45 días consecutivos o más durante los 4 meses siguientes al solsticio de verano; y está húmeda por 45 días consecutivos o más durante los cuatro meses siguientes al solsticio de invierno (22 de junio). La TMAS es $< 22^{\circ}\text{C}$, y la TMV y la TMI difieren en 6°C o más.

1.4.2 Regímenes de temperatura de los suelos

Dentro de ciertos límites, la temperatura controla el crecimiento de las plantas y también la formación de los suelos. Bajo el punto de congelación no hay actividad biológica y el agua no se mueve como líquido. Entre los 0°C y los 5°C, tanto la germinación de muchas semillas como el crecimiento de raíces son imposibles. La temperatura varía en el suelo de un horizonte a otro. Cerca de la superficie la temperatura varía con las horas del día y con las estaciones del año. Para fines prácticos, el régimen de temperatura se puede describir por la TMS, por el promedio de las fluctuaciones estacionales, y por la gradiente entre la temperatura media de la estación más cálida y la temperatura media de la estación más fría.

Régimen crítico. Los suelos tienen una TMS inferior a 8°C, pero no tienen permafrost.

a) En suelos minerales, la TMV:

Si el suelo no está saturado:

- Sin horizonte O, es < 15°C; ó
- Con horizonte O, es < 8°C; ó

Si el suelo está saturado:

- Sin horizonte O, < 13°C; ó
- Con horizonte O ó epipedón hístico, < 6°C.

b) En suelos orgánicos, la TMS es < 6°C.

En el Cuadro 1-7, se sintetiza el resto de los regímenes de temperatura de los suelos.

Cuadro 1-7. Regímenes de temperatura de los suelos (excluido régimen crítico)

| TMAS | Si [TMV-TMI] > 6°C (con estacionalidad) | Si [TMV-TMI] < 6°C (escasa estacionalidad) |
|-------------|--|---|
| < 8°C | Frígido | Isofrígido |
| 8 a < 15°C | Mésico | Isomésico |
| 15 a < 22°C | Térmico | Isotérmico |
| ≥ 22°C | Hipertérmico | Isohipertérmico |

Si bien para Gelisols el régimen de temperatura no se calcula, debido a que por definición poseen un permafrost dentro de 100 cm, para ellos y los grandes grupos Gelic con TMS ≤ -10°C, de -4 a > -10°C y de +1 a > -4°C, se definen (a nivel de familia) las clases hipergélico, pergélico y subgélico, respectivamente.

1.4.3 Regímenes de humedad de los suelos de Chile

Tomando como base el trabajo realizado por Van Wambeke (1981) y Van Wambeke y Luzio (1982), además de los reconocimientos de suelos realizados desde la Región Arica – Parinacota hasta la Región Antártica, se propone la siguiente distribución de los regímenes de humedad para los suelos en Chile (Figura 1-16, al final del Capítulo).

Régimen árido (tórrico). Se extiende desde el límite político con Perú hasta los 32° LS, y desde los sectores cordilleranos hasta el borde costero, considerándose como un régimen extremo a causa de la inexistencia de precipitaciones en todos los meses del año, en la mayoría de los años. Es probable que al aproximarse hacia el límite sur se

haga transicional con el régimen xérico, que domina en la Región Central de Chile (Regiones Semiáridas y Subhúmedas). También es probable que en los sectores altiplánicos sobre los 4.000 msnm se transforme más bien, en un régimen ústico, debido a que en esa zona hay precipitaciones que se producen en los meses de verano. Sin embargo, la escasez de datos climáticos, la mayoría de los cuales proviene de centros poblados, no permite obtener una mayor precisión en la distribución y delimitación de los regímenes de humedad. Además, los datos sobre el clima del suelo son completamente inexistentes. El límite sur coincide aproximadamente con el límite político entre la Región de Coquimbo y la Región de Valparaíso.

Régimen xérico. Se extiende desde el paralelo 32°LS hacia el sur, aproximadamente hasta 37°30'-37°45' LS, abarcando los sectores de Precordillera de Los Andes y de la Depresión Intermedia hasta una línea imaginaria que pasa por Santa Bárbara, Quilaco, Mulchén, Collipulli, Los Sauces, Cañete, Curanilahue.

Régimen ústico. Queda reducido a una franja costera que incluye el sector de terrazas costeras y cuyo límite sur lo constituye el río Itata y que sigue una línea imaginaria que une las localidades de Navidad, Litueche, Pichilemu, Paredones, Vichuquén, Curepto, Constitución, Chanco, Curanipe, Cobquecura y el río Itata.

Régimen údico. Se extiende al sur del río Itata, Cañete, Los Sauces, Collipulli, Mulchén, Quilaco hasta Santa Bárbara. Este régimen se extiende desde esta línea hacia el sur, desde la Cordillera de Los Andes hasta el Océano Pacífico por la Región de los Ríos, Región de los Lagos, Región de Aysén y parte de la Región de Magallanes. En la Región de Aysén, hacia el límite con la República Argentina, se aproxima a un régimen xérico, como sucede en las cercanías de Chile Chico, o bien hacia un régimen arídico, como pudiera ser en sectores de La Tapera y Balmaceda. Se supone que muchos sectores del Archipiélago de Los Chonos así como en la mayor parte del territorio insular de esta Región, el régimen podría ser perúdico. En la Región de Magallanes, los suelos de la mayor parte de Tierra del Fuego podrían tener un régimen arídico. La inexistencia de datos acerca de las condiciones hídricas de los suelos sólo permite suponer estas tendencias.

1.4.4 Regímenes de temperatura de los suelos de Chile

Al igual que en los regímenes de humedad de los suelos, se propone la siguiente distribución de los regímenes de temperatura para los suelos en Chile (Figura 1-16, al final del Capítulo).

Régimen térmico. Se extiende desde el límite político con Perú hasta la línea imaginaria que pasa por Santa Bárbara, Quilaco, Mulchén, Collipulli, Los Sauces, Cañete hasta Curanilahue. Se puede estimar que se encuentra desde la precordillera de Los Andes hasta el Océano Pacífico. De esta manera se superpone sobre los regímenes de humedad arídico y xérico. De acuerdo con Van Wambeke y Luzio (1982), sólo se habría detectado una sola estación con régimen hipertérmico en la región desértica del país.

Régimen isotérmico. Se extiende desde el límite político con Perú, siguiendo la línea de la Cordillera de la Costa en su vertiente poniente, hasta el río Itata. Es decir se

superpone sobre el régimen de humedad arídico hasta el paralelo 32°LS y desde allí hasta el río Itata, se superpone sobre el régimen de humedad ústico.

Régimen méxico. Se distribuye entre una línea imaginaria que va desde Santa Bárbara, Quilaco, Mulchén, Collipulli, Los Sauces, Cañete hasta Curanilahue, desde la Cordillera de Los Andes hasta otra línea imaginaria que va desde Curanilahue hacia el sur pasando por Contulmo, Carahue, Lanco hasta Calafquén.

Régimen isomésico. Se ubica a partir de una línea imaginaria, que comienza aproximadamente en Coelemu, hacia el oeste y hacia el sur, por las localidades de Concepción, San Rosendo, Curanilahue, Cañete, Carahue, Lanco hasta Calafquén. Este régimen se extiende hacia el sur, desde la Cordillera de Los Andes hasta el Océano Pacífico por la Región de los Ríos, Región de los Lagos, Región de Aysén y la Región de Magallanes. En la Región de Aysén, hacia el límite con la República Argentina, se aproxima a un régimen térmico, como sucede en las cercanías de Chile Chico, La Tapera y Balmaceda. La inexistencia de datos acerca de las condiciones térmicas de los suelos también sólo permite suponer estas últimas tendencias.

1.4.5 Categorías superiores de clasificación de suelos

Una *categoría* es un agregado de *clases*, formada por la diferenciación simple dentro de una población. Una categoría incluye a la población completa; incluye todas las clases diferenciadas en función de una base simple. La clasificación de suelos es un sistema jerárquico, en que las categorías más altas tienen pocas clases y son más generales que las clases de las categorías inferiores, las cuales han acumulado los atributos de todas las categorías superiores. De esta manera, los niveles más altos están asociados a una mayor generalización o abstracción. Estas abstracciones son las que se han utilizado como bases de la diferenciación (cuadros 1-8 y 1-9).

Cuadro 1-8. Características principales de los Órdenes en la Taxonomía de Suelos (*Soil Taxonomy*)

| | |
|---|-------------------|
| Suelos con permafrost o materiales gélicos dentro de 1 m de profundidad | <i>Gelisol</i> |
| Otros suelos con materiales fibricos, hémicos o sápricos en >40 cm superficiales | <i>Histosol</i> |
| Otros suelos con un horizonte espódico de más de 10 cm de espesor | <i>Spodosol</i> |
| Otros suelos con propiedades ándicas en más del 60% de los 0,6 m superficiales | <i>Andisol</i> |
| Otros suelos con un horizonte óxico dentro de los 1,5 m de la superficie o contienen > 40% de arcilla en los primeros 0,18 m y un horizonte kándico | <i>Oxisol</i> |
| Otros suelos que contiene > 30% de arcilla en todos los horizontes y grietas activas periódicamente | <i>Vertisol</i> |
| Otros suelos con algún horizonte diagnóstico subsuperficial y un régimen de humedad arídico | <i>Aridisol</i> |
| Otros suelos con un horizonte argílico o kándico y una saturación básica (a pH 8,2) inferior a 35% a una profundidad de 1,8 m | <i>Ultisol</i> |
| Otros suelos con un epipedón mólico y una saturación básica (a pH 7) de al menos 50% en todas las profundidades sobre 1,8 m | <i>Mollisol</i> |
| Otros suelos con un horizonte argílico, kándico o nátrico | <i>Alfisol</i> |
| Otros suelos con un epipedón úmbrico, mólico o plágeno, o un horizonte cámbico | <i>Inceptisol</i> |
| Otros suelos | <i>Entisol</i> |

Cuadro 1-9. Características principales de los Grandes Grupos de la Base Referencial de Suelos del Mundo (WRB)

| | |
|---|--------------------|
| Suelos con un Horizonte (H.) hístico o fólico (orgánico) de $\geq 0,4$ m de espesor | <i>Histosol</i> |
| Otros suelos profundamente modificados por el manejo agrícola | <i>Antrosol</i> |
| Otros suelos con $\geq 20\%$ de materiales manufacturados por el hombre | <i>Tectosol</i> |
| Otros suelos que tienen un H. críico (congelados permanentemente) dentro de 1 m | <i>Criosol</i> |
| Otros suelos a menos de 0,25 m de una roca dura continua | <i>Leptosol</i> |
| Otros suelos con un H. vértico (rico en arcillas expandibles) y $> 30\%$ de arcilla en todas sus partes después de mezclar sus 0,2 m superficiales; $> 0,5$ m de espesor y desarrollo de grietas durante la mayor parte de los años | <i>Vertisol</i> |
| Otros suelos con material flúvico dentro de 0,25 m y que continúan a 0,5 m | <i>Fluvisol</i> |
| Otros suelos con un H. nátrico (rico en arcilla iluvial y Na intercambiable) dentro de 1 m | <i>Solonetz</i> |
| Otros suelos con un H. sálico (rico en sales solubles) dentro de 0,5 m y sin un H. tiónico (muy ácido) | <i>Solonchak</i> |
| Otros suelos con un patrón de color gléyico dentro de 0,5 m | <i>Gleysols</i> |
| Otros suelos con un H. ándico o vítrico dentro de 0,25 m | <i>Andosols</i> |
| Otros suelos con un H. espódico (rico en complejos iluviales Al-humus) dentro de 2 m | <i>Podzols</i> |
| Otros suelos con un H. plíntico (rico en Fe, pobre en humus, muy meteorizado) dentro de 0,5 m | <i>Plintisol</i> |
| Otros suelos con un H. ferrálico a alguna profundidad dentro de 1,5 m | <i>Ferralsol</i> |
| Otros suelos con un cambio textural abrupto y condiciones reducidas dentro de 1 m | <i>Planosol</i> |
| Otros suelos con condiciones reductoras | <i>Estagnosol</i> |
| Otros suelos con un H. mólico (oscuro, alta saturación básica) con cromas 2 en húmedo a una profundidad $\geq 0,2$ m y carbonatos secundarios dentro de 0,5 m bajo el H. mólico | <i>Chernozem</i> |
| Otros suelos con un H. mólico y carbonatos secundarios dentro de 0,5 m bajo el H. mólico | <i>Kastanozem</i> |
| Otros suelos con un H. mólico y una saturación básica $\geq 50\%$ en todo el primer metro y carecen de carbonatos secundarios | <i>Phaeozem</i> |
| Otros suelos con un H. gípsico o petrogípsico (rico en yeso) dentro de 1 m | <i>Gipsisol</i> |
| Otros suelos con un H. dúrico o petrodúrico (cementado con sílice) dentro de 1 m | <i>Durisol</i> |
| Otros suelos con un H. cálcico o petrocálcico (rico en CaCO_3 secundario) dentro de 1 m | <i>Calcisol</i> |
| Otros suelos con un H. árgico (directa o indirectamente enriquecido en arcilla) dentro de 1 m, con lenguas albelúvicas | <i>Albeluvisol</i> |
| Otros suelos con un H. árgico y una CIC de arcilla $\geq 24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ comenzando dentro de 1 m y una saturación básica $< 50\%$ en la mayor parte entre 0,25 y 0,50 m | <i>Alisol</i> |
| Otros suelos con un H. nítrico comenzando dentro de 1 m | <i>Nitisol</i> |
| Otros suelos con un H. árgico y una CIC de arcilla $< 24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ y una saturación básica $< 50\%$ en la mayor parte entre 0,5 y 1 m | <i>Acrisol</i> |
| Otros suelos con un H. árgico y una CIC de arcilla $> 24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ | <i>Luvisol</i> |
| Otros suelos con un H. árgico dentro de 1 m | <i>Lixisol</i> |
| Otros suelos con un H. úmbrico (oscuro y bajo en bases) o un H. mólico | <i>Umbrisol</i> |
| Otros suelos con texturas más gruesas que franco arenosos en al menos 1 m | <i>Arenosol</i> |
| Otros suelos con un H. cámbico comenzando dentro de 0,5 m y finalizando bajo 0,25 m | <i>Cambisol</i> |
| Otros suelos | <i>Regosol</i> |

Los cuadros 1-8 y 1-9 se incluyen solo a manera de referencia, pero son insuficientes para efectuar una clasificación de los suelos. Para ello se debe recurrir a las publicaciones originales, siguiendo estrictamente las claves allí señaladas, esto es Soil Survey Staff (2006) y IUSS Working Group WRB (2006).

El Cuadro 1-10 constituye una aproximación que tiende a correlacionar ambos sistemas, a nivel de categorías superiores.

Cuadro 1-10. Correlación entre Órdenes (*Soil Taxonomy, ST*) y Grupos de Referencia (*WRB*)

| □WRB/TS□ | Alfisol | Andisol | Aridisol | Entisol | Gelisol | Histosol | Inceptisol | Mollisol | Spodosol | Oxisol | Ultisol | Vertisol | □TS/WRB□ |
|-------------|---------|---------|----------|---------|---------|----------|------------|----------|----------|--------|---------|----------|-------------|
| Acrisol | ± | | | | | | | | | ± | + | | Acrisol |
| Albeluvisol | + | | | | | | | ± | | | ± | | Albeluvisol |
| Alisol | ± | | | | | | | | | | + | | Alisol |
| Andosol | | + | | | | | | | | | | | Andosol |
| Antrosol | | ± | ± | + | ± | | ± | | | ± | | | Antrosol |
| Arenosol | | | | ± | | | | | | | | | Arenosol |
| Calcisol | ± | | + | | | | ± | | | | | | Calcisol |
| Cambisol | | | ± | | | | + | | | | | | Cambisol |
| Chernozem | | | | | | | | + | | | | | Chernozem |
| Crisol | | | | | + | | | | | | | | Crisol |
| Durisol | ± | | + | | | | ± | | | | ± | | Durisol |
| Ferrasol | ± | | | | | | | | | + | ± | | Ferrasol |
| Fluvisol | | | | + | | | | | | | | | Fluvisol |
| Gleisol | ± | ± | | ± | | | ± | ± | | ± | ± | | Gleisol |
| Gipsisol | ± | | + | | | | ± | | | | | ± | Gipsisol |
| Histosol | | | | | ± | + | | | | | | | Histosol |
| Kastanozem | | | | | | | | + | | | | | Kastanozem |
| Leptosol | | | ± | + | | ± | | ± | | | | | Leptosol |
| Lixisol | + | | | | | | | | | | ± | | Lixisol |
| Luvisol | + | | | | | | | | | | ± | | Luvisol |
| Nitisol | ± | | | | | | | | | ± | + | | Nitisol |
| Faeozem | | | | | | | | + | | | | | Faeozem |
| Planosoles | ± | | | | | | ± | ± | | | ± | | Planosoles |
| Plintisol | ± | | | | | | | | | ± | ± | | Plintisol |
| Podzol | | | | | | | | | + | | | | Podzol |
| Regosol | | | | + | | | | | | | | | Regosol |
| Solonchaks | | | + | | | | ± | | | | | | Solonchaks |
| Solonetz | ± | | ± | | | | | | | | | | Solonetz |
| Estagnosol | ± | | | ± | | | ± | ± | | | ± | | Estagnosol |
| Tecnosol | | ± | ± | + | ± | | ± | | | | | ± | Tecnosol |
| Umbrisol | | | | | | | + | | | | | | Umbrisol |
| Vertisol | | | | | | | | | | | | + | Vertisol |
| □WRB/TS□ | Alfisol | Andisol | Aridisol | Entisol | Gelisol | Histosol | Inceptisol | Mollisol | Spodosol | Oxisol | Ultisol | Vertisol | □TS/WRB□ |

+: Indica que todos o casi todos los suelos de WRB están en ST y viceversa

±: Indica que algunos suelos de WRB están en ST y viceversa

1.5 Zonas Edáficas de Chile

El término *Zona Edáfica* sugiere una uniformidad u homogeneidad de los cuerpos suelos que se encuentran enmarcados dentro de ella. Sin embargo, para una realidad geográfica y fisiográfica como la de Chile ello no ocurre, pues los paisajes han sido remodelados por diferentes agentes tales como el agua, el hielo, el viento, el volcanismo y, más recientemente, por el hombre. Teniendo presente la enorme variabilidad de suelos que se puede encontrar en una misma Zona Edáfica, existen al menos dos elementos que pueden considerarse como relativamente constantes, que son, el contenido de agua y la temperatura media en la sección de control de los suelos.

En base al trabajo de Van Wambeke y Luzio (1982) conjuntamente con los reconocimientos de suelos realizados recientemente entre la III Región de Atacama y la XI Región de Aysén (CIREN, desde 1996 a 2007), es posible asociar los regímenes de humedad y de temperatura para los suelos en Chile, a las grandes regiones climáticas del país, tomando ambas variables en escalas generalizadas, esto es 1:500.000 o menor. Lógicamente, el régimen ácuico escapa a esta tendencia, a causa de sus requerimientos especiales.

Las variaciones en el clima que han estado ocurriendo en las últimas décadas en el país y a nivel planetario hacen variar las condiciones climáticas locales, de tal forma que la sección de control de los suelos puede, en algunos años, permanecer próxima a capacidad de campo por períodos prolongados, hasta semanas o meses en el verano. En cambio, en otros años la sección de control de esos mismos suelos, se encuentra próxima a marchitez permanente durante todo el año.

Ésta ha sido, además de la falta de estudios de detalle en cada región, la mayor dificultad para establecer con precisión los límites de los regímenes de humedad y de temperatura de los suelos para el país, aun cuando aparentemente no debiera serlo si se consideran los marcados rasgos fisiográficos que jalonan el relieve en toda su extensión, de norte a sur y de este a oeste.

Los mapas que sirven de base cartográfica para las separaciones de las Zonas Edáficas tienen un valor referencial y esquemático. En primer lugar porque una escala precisa carece de sentido a este nivel de aproximación y, en segundo lugar, puesto que como ya se explicó los límites de los regímenes de humedad y de temperatura tampoco se pueden delinear con precisión.

Este texto ha tomado el concepto de Zonas Edáficas, subdividiendo el país en ocho Zonas, cuyos límites pueden parecer arbitrarios, pero en la práctica reflejan diferencias en las propiedades de la mayoría de los suelos, que los hacen muy particulares y diferentes de aquellos de otras Zonas Edáficas del país (Cuadro 1-11 y Figura 1-17).

Cuadro 1-11. Zonas Edáficas de Chile

| Zona Edáfica | Desde | Hasta |
|--|-----------|-----------|
| A. Suelos de la Zona Desértica | 18° 00'LS | 29° 00'LS |
| B. Suelos de la Zona Árida y Semiárida | 29° 00'LS | 32° 00'LS |
| C. Suelos de la Zona Mediterránea Árida | 32° 00'LS | 37° 45'LS |
| D. Suelos de la Zona Mediterránea Húmeda | 37° 45'LS | 43° 00'LS |
| E. Suelos de la Zona Húmeda | 43° 00'LS | 50° 00'LS |
| F. Suelos de la Zona de Magallanes | 50° 00'LS | 55° 00'LS |
| G. Suelos de la Zona Antártica | 62° 00'LS | 63° 00'LS |
| H. Suelos de la Isla de Pascua y de Juan Fernández | - | - |

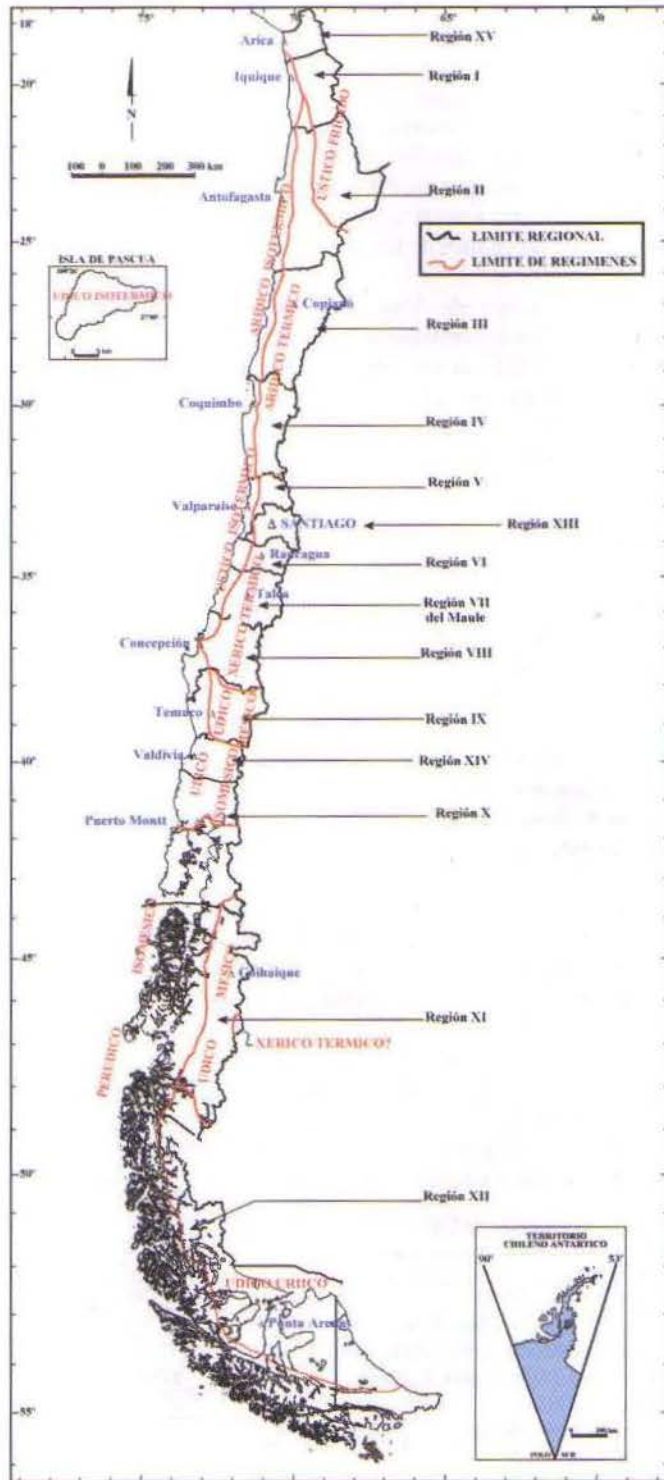


Figura 1-16. Regímenes de Humedad y Temperatura de los suelos propuestos para Chile.

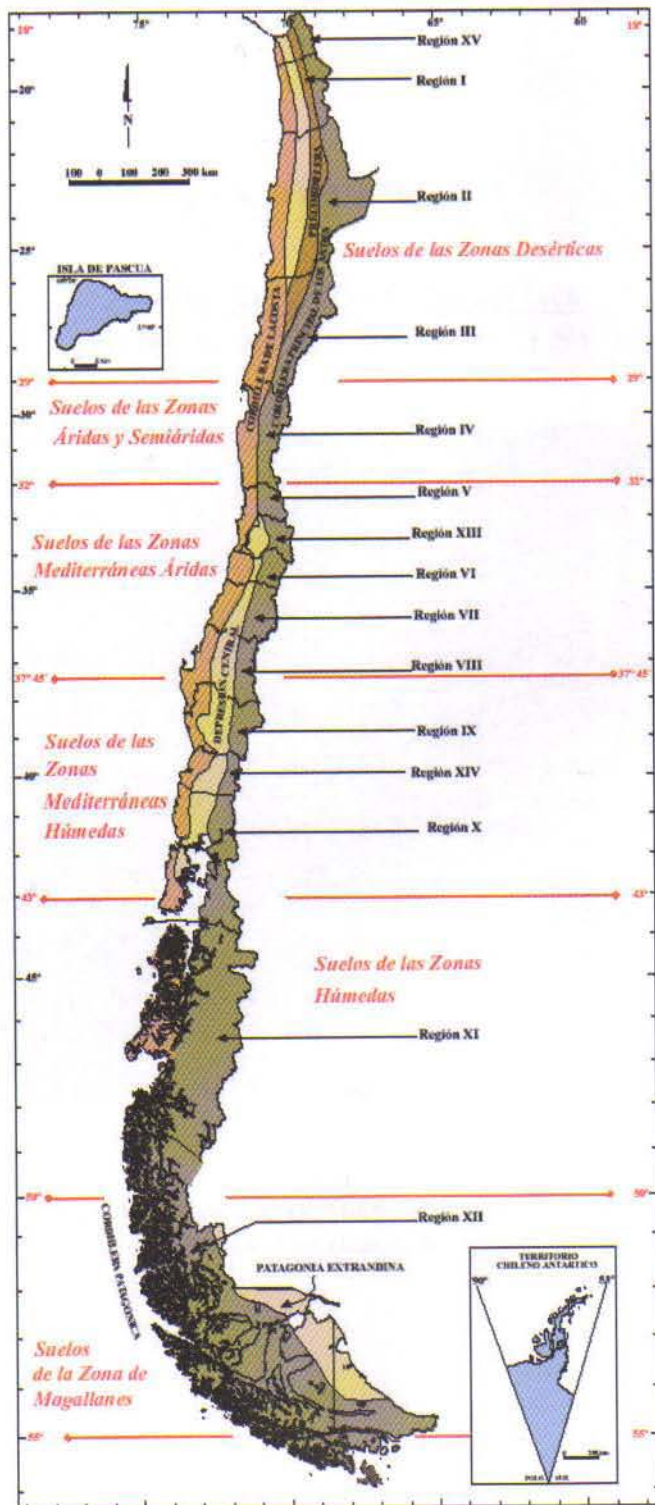


Figura 1-17. Fisiografía general y Zonas Edáficas de Chile.

CAPÍTULO 2

Suelos de la Zona Desértica (Desde 18° LS hasta 29° LS)



Luzio, W., Casanova, M. Seguel, O. 2009. Suelos de la Zona Desértica (Desde 18° LS hasta 29° LS). pp: 39-80. *In*: Suelos de Chile. (Luzio, W., Editor). Universidad de Chile.

2.1. Suelos del Sector Altiplánico

2.1.1 Reseña de la geología y geomorfología del área

Con anterioridad al Plioceno, se desarrolló una cuenca sedimentaria fluvio - lacustre con abundante actividad orgánica, donde se han podido identificar restos fósiles de mamíferos (Salas *et al.*, 1966; González, 1965; Charrier y Muñoz, 1997). Hacia finales del Mioceno (19 Ma), preferentemente en el Plioceno, se originó una actividad volcánica explosiva de carácter ácido que generó mantos ignimbríticos gruesos y extensos. Éstos recubrieron a los depósitos anteriores en la precordillera y Cordillera Andina, lo que produjo una superficie casi plana. A fines del Plioceno y/o en el Pleistoceno Inferior, un fuerte tectonismo produjo un alzamiento diferencial de bloques a lo largo de grandes fallas de dirección nor-noroeste. Una de estas fallas formó la cadena occidental de la Cordillera de Los Andes que, a su vez, generó la cuenca del Altiplano (Figura 2-1, al final del Capítulo). Esta cuenca fue rellenada parcialmente con diatomitas de edad pleistocénica (Figura 2-2).

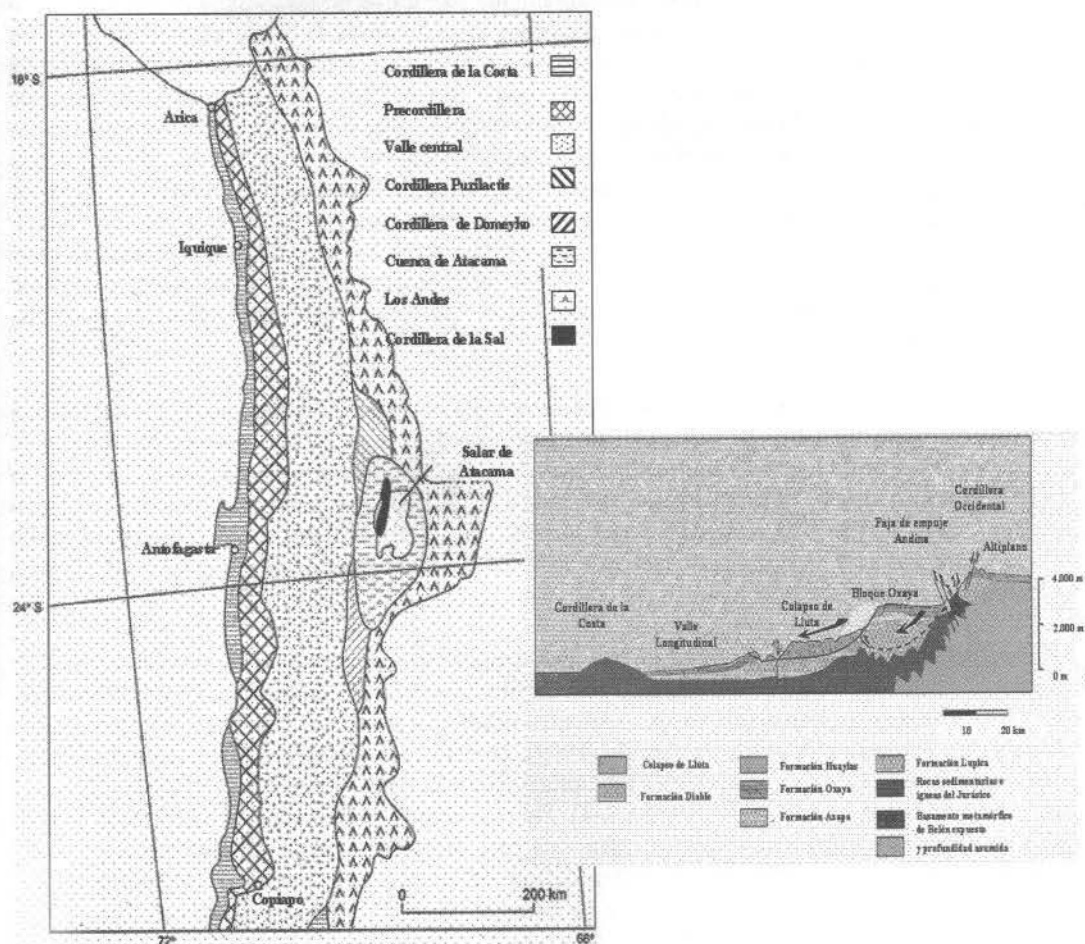


Figura 2-2. Fisiografía general de la Zona Desértica.

Hacia finales del Pleistoceno se produjo un intenso período de actividad volcánica en la cordillera, que se prolongó hasta el Holoceno Reciente y que generó estructuras volcánicas andesíticas que sobrepasan los 6.000 msnm. Los volcanes cuaternarios corresponden fundamentalmente a estratovolcanes, grandes calderas, domos y conos de piroclastos (González, 1965; Moreno y Varela, 1985). Sus productos de eyección son esencialmente de composición andesítica (rara vez riolítica) durante la época glacial y de composición andesítica más básica, durante el volcanismo postglacial (Figura 2-3, al final del Capítulo). Según Moreno y Varela (1985) los materiales volcánicos más abundantes están representados por flujos de lavas de superficies rugosas o de bloques angulares ignimbríticos, depósitos de cenizas y lapillis cuyo principal constituyente es la pómez. Las rocas son de textura porfirica con cristales de plagioclasas, piroxenos (augita e hiperstena), anfíboles (hornblenda), magnetita y ocasionalmente olivino, cuarzo, biotita y feldespatos potásico (sanidina) inmersos en una pasta vítrea.

En la actualidad el paisaje se compone de planos remanentes muy disectados, lomajes y colinas precordilleranas y un núcleo montañoso escarpado, surcado por quebradas, algunas de las cuales mantienen cierta utilización agrícola en sus partes más bajas. Se encuentran además, enormes depósitos de lavas riolíticas, originadas probablemente por flujos de lavas terciarias y mezcladas con andesitas y basaltos cuaternarios. Estos depósitos abarcan desde la frontera con Perú hasta las cercanías de Copiapó. Generan una formación de plano inclinado, con una pendiente promedio de 7 a 8%, como parte de los primeros contrafuertes de la Cordillera de Los Andes. A causa de procesos de erosión antigua, esta formación ha sido intensamente disectada, generando quebradas profundas que, actualmente, están cursadas por pequeños cauces de agua carentes de la energía necesaria para continuar con el proceso erosivo. En el Valle de Chacalluta los diferentes procesos han dado origen a suelos estratificados, pobremente estructurados y, en algunos casos, con estratos pétreos salinos, extremadamente duros que sobreyacen a suelos de origen aluvial (Kühne y Freres, 2002). Los valles generados por erosión hídrica son escasos y angostos, de escasa importancia desde el punto de vista agrícola, pero que mantienen una población con una agricultura rudimentaria.

En el sector propiamente de montaña, las pendientes son mayores, las laderas de los cerros son escarpadas, con profundas y estrechas quebradas. En las partes medias y bajas de las laderas es posible encontrar coluvios de granulometría muy heterogénea. En términos generales, Sillitoe *et al.* (1968) señalan que la Cordillera de la Costa está constituida por rocas sedimentarias e ígneas del Mesozoico, la Precordillera está compuesta de rocas del Mesozoico al Eoceno, el Valle Central corresponde a una cuenca rellena por sedimentos del Oligoceno al Plioceno y las cuencas Preandinas por sedimentos del Mioceno al Holoceno.

La humedad llega a esta zona a través de tres vías. Durante el verano masas de aire (monzónicas) del noreste provocan precipitaciones convectivas provenientes del Amazonas (Garreaud *et al.*, 2003). En invierno las masas de aire provenientes desde el sur (oeste) provocan precipitaciones frontales de ciclones extratropicales (Vuille, 1999). Houston and Hartley (2003) han definido un límite entre ambos sistemas que aportan precipitaciones a la zona, y que corresponde a una línea imaginaria de dirección NO – SE (Figura 2-4). De esta forma, se han separado áreas que tienen una precipitación máxima en verano y otras, una precipitación máxima en invierno. Los datos aportados por estos autores (*op.cit.*) permiten definir, aunque en forma general, los regímenes de humedad para esta zona, de tal manera que las áreas al oeste de la línea ya señalada, mantienen una combinación de regímenes árido – térmico y las áreas ubicadas al este se consideran con regímenes ústico - térmico (Figura 2-4).

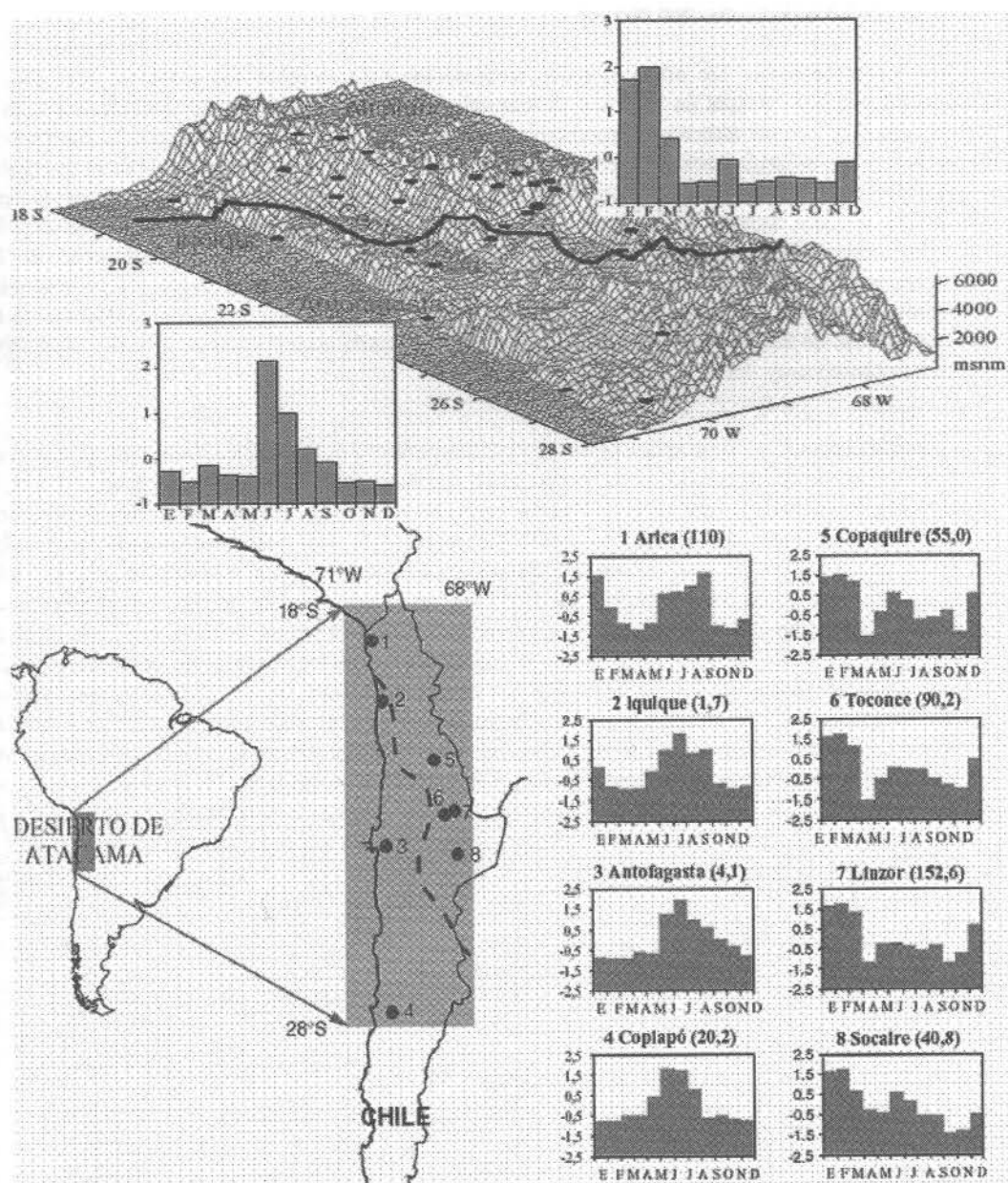


Figura 2-4. Precipitaciones normalizadas (Ln3) en la Zona Desértica de Chile. Entre paréntesis, medias mensuales de cada estación meteorológica considerada (Houston and Hartley, 2003; Houston, 2006).

La tercera fuente de humedad son la niebla y la llovizna, que se desarrollan bajo la capa de inversión (800 msnm), que es más frecuente en invierno y están asociadas al paso de sistemas frontales. Schemenauer and Cereceda (1991) y Cereceda and Schemenauer (1991) sugieren que esta precipitación puede ser equivalente a 100 mm año^{-1} y ocurre, preferentemente, entre los 26° y 28° LS; aunque decrece hacia el norte, probablemente es sobrestimada debido a los procesos de evapotranspiración.

2.1.2 Características de los suelos

Suelos esqueléticos. De acuerdo a los antecedentes disponibles, es probable que, en los sectores altiplánicos, exista un régimen de humedad ústico y regímenes de temperatura frígido para las áreas de mayor altura y térmico para las áreas más próximas a la Depresión Intermedia. Sin embargo, no existen datos suficientes para su corroboración, en particular, sobre el contenido de agua y la temperatura de los suelos. Esta zona comprende las áreas ubicadas por encima de la cota 1.500, es decir, incluye lo que podría llamarse el *piedmont* de la Cordillera de Los Andes, los cordones montañosos y el Altiplano propiamente tal. Si se considera la antigüedad de los materiales volcánicos (fines del Pleistoceno y Holoceno) no se debiera esperar una evolución pedogénica avanzada en los suelos y, menos aún, una translocación de componentes dentro de los perfiles, a causa de las bajas temperaturas medias y la marcada aridez, factores que determinan un régimen orgánico muy débil.

Las características de los regímenes hídricos y de temperatura de los suelos, han dado origen a un débil desarrollo de los organismos del suelo y, en general, de la vegetación. De esta manera, la pedogénesis se manifiesta en forma primaria para una gran mayoría de materiales geológicos, dando como resultado suelos de desarrollo incipiente, en los cuales solamente es posible distinguir un horizonte A, con escasa acumulación de materia orgánica sobre un sustrato que, generalmente, no presenta evolución pedogénica. A estos suelos se les considera como esqueléticos, con un perfil A-R, cuando se encuentran sobre roca sin meteorizar o con un perfil A-Cr, cuando el material subyacente presenta algún grado de meteorización. El contenido de CO rara vez alcanza valores superiores al 1% en los centímetros superficiales, para casi desaparecer en los horizontes más profundos (0,09%) (Luzio *et al.*, 2002a). Los horizontes C o R se han descrito a partir de los 40 ó 60 cm de profundidad, además de presentar gravas en el perfil, lo que ha justificado la denominación de esqueléticos. De acuerdo a la información geológica publicada sobre el área, se puede deducir que la mayor parte de las rocas subyacentes en los suelos son de naturaleza volcánica, principalmente de origen andesítico. De acuerdo con estas condiciones y siguiendo la clasificación de suelos del USDA (Soil Survey Staff, 2003), la mayoría de estos suelos caen dentro de la calificación de Lithic Usthorthent (Figuras 2-5 y 2-6, al final del Capítulo).

En todos los suelos es común una pedregosidad superficial abundante, que varía entre 5 y 50%, cuyo tamaño va desde gravas finas hasta guijarros subangulares, generalmente de origen volcánico; también son frecuentes las gravas con diferentes grados de meteorización. Existe un recubrimiento de arena, de variada granulometría y de espesor variable, entre 1 y 10 cm, cuyo origen se encuentra en los procesos de transporte y depositación eólicos de intensidad en la zona. En un estudio realizado por IREN (1976) para la misma zona, se describieron gravas finas y medias de litología heterogénea, tales como riolitas, andesitas y basaltos con arenas y gravas pumicíticas en la mayor parte de los suelos que fueron identificados.

La profundidad del solum no supera los 60 cm. Los horizontes A son de color pardo amarillento (7.5YR a 10YR) y en algunos casos puede llegar a pardo oscuro y pardo rojizo (7.5YR y 5YR), lo cual indica alguna segregación de óxidos de hierro en la matriz del suelo y, por lo tanto, una meteorización débil a moderada de los minerales ferromagnésicos. En todos los suelos los horizontes superficiales tienen un valor y un croma (Munsell) igual o superior a 3, rasgo que refleja los bajos contenidos de MO. Las clases texturales dominantes de los horizontes A son gruesas, y sólo en algunos casos se presentan texturas medias. Las estructuras dominantes son de

bloques subangulares débiles, aun cuando también se describen horizontes sin estructura, es decir, grano simple o maciza.

Una característica casi general a este tipo de suelos, es que el mayor contenido de CO se encuentra en los horizontes superficiales, con un decrecimiento regular en profundidad. Esta tendencia se ha atribuido a que, en la mayoría de ellos, la vegetación dominante es de coironal, cuyo sistema radical se desarrolla más abundantemente en los primeros centímetros de suelo (Luzio y Vera, 1982). Sin embargo, también se encuentran suelos en los que la MO presenta una distribución irregular en profundidad, proveniente de la estratificación de los materiales de origen (Cuadro 2-1).

Cuadro 2-1. Características físicas y químicas de un suelo esqueletal, entre San Pedro de Atacama y El Tatio. (S.A. CORFO-UCH, 1982b)

| Profundidad (cm) | 0 -20 | 20 - 34 | 34-69 | 69-105 |
|--|-------|----------------|----------------|----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A | C ₁ | C ₂ | C ₃ |
| 2-0,05 | 70,8 | 54,8 | 80,0 | 82,8 |
| 0,05-0,002 | 15,2 | 23,2 | 9,2 | 9,2 |
| < 0,002 | 14,0 | 22,0 | 10,0 | 8,0 |
| Clase textural | Fa | FAa | Fa | aF |
| Carbono orgánico (%) | 0,29 | 0,41 | 0,05 | 0,06 |
| pH _{agua} | 6,50 | 6,60 | 6,60 | 7,20 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 0,18 | 10,0 | 0,14 | 0,14 |
| Cationes extraíbles | Ca | 3,6 | 4,7 | 2,2 |
| (cmol _c kg ⁻¹) | Mg | 1,2 | 1,8 | 0,8 |
| | K | 0,7 | 1,1 | 0,5 |
| | Na | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | 7,0 | 9,2 | 4,5 | 4,9 |
| Saturación básica pH 7,0 (%) | - | 100,0 | - | - |

Suelos con pedogénesis incipiente. Sin ocupar una posición geomorfológica definida y, en forma excepcional, algunos suelos presentan procesos pedogénicos más intensos, evidenciados a través de la formación de horizontes cámbicos (B_w), con una granulometría de fina a moderadamente fina y una estructura bien desarrollada. El color de estos horizontes B fluctúa entre el pardo rojizo (5YR3/4) y el pardo amarillento oscuro (7.5YR4/4 y 10YR4/4). Las estructuras más frecuentes son de bloques angulares y subangulares, aun cuando en forma ocasional, algún suelo puede presentar un horizonte B con estructura prismática gruesa fuerte. Algunos horizontes C se encuentran fuertemente compactados y presentan abundantes gravas de pómez o tobas con distintos grados de meteorización.

En los suelos de estas regiones es muy frecuente encontrar discontinuidades litológicas ocasionadas por las frecuentes y sucesivas depositaciones eólicas, aluviales y volcánicas en forma de riadas de constitución petrográfica muy diferente. Esta puede ser la explicación para la gran dispersión de datos que se presenta cuando se miden algunos parámetros, tales como las retenciones de agua por horizontes, en los diferentes suelos. Datos de Luzio *et al.* (2002a) señalan que la retención de agua puede variar entre 3 y 21,6% a 1.500 kPa y entre 6,5 y 35,1% a 33 kPa. Se considera que la fracción arcilla es la responsable de la retención de agua a 1.500 kPa para la mayoría de los suelos ($r = 0,868$); por otra parte, los contenidos de MO son lo suficientemente bajos (Luzio *et al.*, 2002a) como para tener alguna influencia en el comportamiento de los suelos. A modo de ejemplo, el Cuadro 2-2, presenta las características del suelo Chirigualla, clasificado como Vitrandic Haplocambid.

Cuadro 2-2. Características físicas y químicas del suelo Chirigualla, aproximadamente entre 18°45'S y 69°45'W (Luzio *et al.*, 2002a)

| Profundidad (cm) | | 0 - 22 | 22 - 43 | 43-70 | 70-86 |
|---|--------------------|----------------|----------------|-------|-------|
| | | A ₁ | B _w | BC | C |
| Distribución de partículas por tamaño (%) | 2-1 | 4,7 | 3,0 | 4,0 | 3,1 |
| | 1-0,5 | 10,2 | 9,3 | 8,3 | 8,4 |
| | 0,5-0,25 | 13,6 | 11,4 | 9,4 | 11,2 |
| | 0,25-0,10 | 21,6 | 17,5 | 11,5 | 14,4 |
| | 0,10-0,05 | 9,9 | 5,8 | 3,5 | 5,0 |
| | 2-0,05 | 60,0 | 47,0 | 36,7 | 42,1 |
| | 0,05-0,002 + 0,002 | 40,0 | 53,0 | 63,3 | 57,9 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 17,7 | 30,9 | 31,9 | 35,1 |
| Agua retenida 1500 kPa (%) | | 10,4 | 17,5 | 19,2 | 21,6 |
| Carbono orgánico (%) | | 1,3 | 0,4 | 0,2 | 0,1 |
| pH _{agua} | | 6,9 | 7,2 | 7,5 | 7,9 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | | 0,43 | 0,47 | 0,72 | 0,5 |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 7,0 | 15,2 | 17,7 | 21,8 |
| | Mg | 2,8 | 8,4 | 8,7 | 11,7 |
| | K | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,1 |
| | Na | 1,3 | 2,3 | 1,8 | 1,6 |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | | 12,9 | 24,2 | 32,9 | 39,7 |

La distribución de raíces a través de los perfiles presenta, en general, una mayor concentración en los horizontes A, bajo una estrata de arena eólica, cuando está presente, y sólo en algunos casos en los horizontes subsuperficiales (Luzio, 1990).

En estos suelos, los mayores contenidos de CO pueden encontrarse en los horizontes B, comportamiento que podría explicarse por el tipo de vegetación de tolar que, generalmente, domina en esta clase de suelos: plantas que tienen una raíz pivotante y una mayor distribución de masa radical hacia los horizontes más profundos. Nuevamente, se estima que los bajos contenidos de CO tienen escasa o nula influencia en otras propiedades de los suelos, tales como la capacidad de retención de agua, la CIC y la reacción del suelo (Cuadro 2-2).

Los valores de CIC para todos los suelos son medios a bajos, lo cual puede atribuirse al predominio de las fracciones granulométricas más gruesas que, a su vez, constituyen una evidencia del bajo grado de meteorización de los materiales parentales. En el caso del suelo Chirigualla (Cuadro 2 - 2), es particularmente elevada entre los 43 y 86 cm de profundidad. Al igual que para los contenidos de agua de los suelos, los valores de CIC muestran también una gran dispersión, desde 0,59 hasta 39,7 cmol_c kg⁻¹ (Luzio *et al.*, 2002a) situación que también está asociada a la marcada estratificación que evidencian los suelos. Se asume que la fracción arcilla es la responsable de la casi totalidad de la CIC, lo que ha sido corroborado por Luzio y Vera (1982) en suelos de diferentes ecosistemas de las regiones desérticas del norte de Chile.

Suelos formados en materiales volcánicos recientes. Desde el Pleistoceno Inferior hasta el Holoceno Reciente, la región altiplánica de Chile ha sido cubierta por numerosos sedimentos de origen volcánico (González, 1965; Charrier y Muñoz, 1997). Las tefras de granulometría variada han cubierto extensas áreas, incluyendo las cuencas donde se han formado suelos orgánicos hidromórficos. Estos sedimentos volcánicos han tenido una evolución pedogénica de escasa importancia, a causa del limitado régimen biológico, producto de la escasa disponibilidad de agua. Numerosos autores (Díaz y Wright, 1965; González, 1965; Luzio y Vera, 1982; Luzio, 1990; S.A. CORFO-UCH, 1982a) han señalado que los materiales volcánicos constituyen depósitos

sedimentarios de gran extensión en toda la región altiplánica y, por ende, no es de extrañar que ellos sean materiales parentales frecuentes de los suelos de la región. Las Figuras 2-7 y 2-8 (al final del Capítulo) constituyen un ejemplo de suelos desarrollados en tefras estratificadas, entre Calama y Ollagüe (S.A. CORFO-UCH, 1982a).

Un claro ejemplo de suelos desarrollados a partir de materiales volcánicos, lo constituye el pedón descrito en una amplia cuenca depositacional entre Putre y Parinacota (Figuras 2-9 y 2-10, al final del Capítulo). En este caso se trata de suelos ubicados en posición de lomajes suaves en una meseta altiplánica. Las pendientes son complejas y fluctúan entre 5 y 12%, con una pedregosidad superficial escasa. Son suelos delgados, constituidos principalmente por materiales volcánicos, con fragmentos de pómez a través de todo el perfil. Los colores dominantes son pardo rojizo oscuro (5YR4/4) en la superficie y pardo muy pálido (10YR7/3) en profundidad. Las clases texturales son medias a moderadamente finas hasta los 21 cm de profundidad y arenosa gruesa con gravas pumicíticas de hasta 4 cm de diámetro hasta los 120 cm de profundidad. Las raíces son escasas a través de todo el suelo, exceptuando el segundo horizonte. La estructura de bloques está bien desarrollada en los primeros centímetros, lo cual indica una cierta evolución pedogénica; sin embargo, desde los 21 cm hacia abajo no hay estructura (maciza), con 70% de gravas de pómez desde 2 hasta 4 cm de diámetro. Es probable que todo este sector corresponda a un depósito pumicítico lahárico (Cuadro 2-3).

Cuadro 2-3. Características físicas y químicas de un suelo formado en materiales volcánicos recientes, entre Putre y Parinacota (S.A. CORFO -UCH, 1982a)

| Profundidad (cm) | 0 - 8 | 8 - 15 | 15-21 | 21-115 |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁₁ | A ₁₂ | A ₁₃ | C |
| 2-0,05 | 56,0 | 52,0 | 47,2 | 60,0 |
| 0,05-0,002 | 24,0 | 20,0 | 24,8 | 22,0 |
| < 0,002 | 20,0 | 28,0 | 28,0 | 18,0 |
| Clase textural | Fa-FAa | FAa | FAa | Fa |
| Carbono orgánico (%) | 0,28 | 0,61 | 0,48 | 0,08 |
| pH _{agua} | 7,00 | 7,20 | 7,30 | 7,10 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 0,32 | 0,24 | 0,31 | 0,31 |
| Cationes extraíbles | | | | |
| Ca | 3,6 | 7,5 | 10,4 | 8,6 |
| Mg | 1,9 | 3,3 | 4,4 | 3,6 |
| (cmol _c kg ⁻¹) | | | | |
| K | 0,5 | 1,0 | 1,2 | 1,0 |
| Na | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | 8,8 | 15,6 | 20,0 | 13,7 |

De la literatura consultada, se ha seleccionado un suelo al cual se le midieron las *propiedades ándicas* (Soil Survey Staff, 1999), de tal manera de poder identificar el grado de evolución de los materiales parentales volcánicos (Cuadro 2-4).

En el horizonte A₁ del suelo Chirigualla, el contenido Al+½Fe(ox) alcanza un nivel de 1,8% (Luzio *et al.*, 2002a), cifra que permite suponer la presencia de un estado de transición más avanzado hacia minerales de ordenamiento de rango corto (MORC), es decir la alófana, la imogolita y la ferrihidrita. Si se considera que el oxalato ácido extrae el Al y el Fe (además del Si) de los MORC, los valores señalados son demasiado bajos como para estimar la presencia de estos minerales, lo cual significa que la meteorización de los alumino-silicatos primarios es muy limitada (Soil Survey Staff, 1999). La escasa evolución de los alumino-silicatos primarios se aprecia, además, por la elevada cantidad de vidrios volcánicos frescos, que alcanzan hasta el 48% en la fracción de 0,02 a 2 mm.

Cuadro 2-4. Propiedades ándicas del suelo Chirigualla, aproximadamente entre 18°45'S y 69°45'W (Luzio *et al.*, 2002a)

| Profundidad (cm) | 0-22 | 22-43 | 43-70 | 70-86 |
|--------------------------------------|----------------|----------------|-------|-------|
| | A ₁ | B _w | BC | C |
| P _{ret} (%) | 21,70 | 25,30 | 20,40 | 16,20 |
| Al _{ox} (%) | 0,45 | 0,33 | 0,30 | 0,12 |
| Fe _{ox} (%) | 2,60 | 0,44 | 0,26 | 0,11 |
| Al + ½ Fe (%) | 1,80 | 0,55 | 0,43 | 0,18 |
| Vidrios volcánicos (%) (0,02 - 2 mm) | 44,00 | 48,00 | 45,00 | 39,00 |

A causa de estos antecedentes, los suelos no alcanzan a cumplir los requisitos mínimos para ser considerados como Andisols y, por lo tanto, se han clasificado como Usthorthent y, en aquellos casos que logren desarrollar un horizonte B cámbico, como Vitrandic Haplocambids, según Soil Survey Staff (2006). Resultados similares obtuvo Norambuena (*) en suelos que describió y analizó en las proximidades del Volcán Irruputuncu, en la Cordillera de Los Andes, al sureste de la ciudad de Iquique.

Suelos saturados en cuencas depresivas del paisaje (bofedales, vegas). El Altiplano representa una meseta de altura, que caracteriza al sector oriental de la Región de Tarapacá, con una altura promedio de 4.500 msnm. En ella, además de los suelos ya mencionados, se encuentran suelos en cuencas con drenaje restringido y en algún caso impedido, con alto contenido de MO y acumulaciones salinas.

En planos del relieve deprimido, asociados a los sectores de inundación de los cursos de agua y de ríos, se crean condiciones de drenaje pobre y gran riqueza en vegetación, conocidos localmente como *vegas*. Se podría decir que en la mayoría de las *vegas* se encuentran suelos minerales ricos en MO. En cambio, existen otras situaciones, asociadas a cuencas cerradas de drenaje impedido, donde se han dado las condiciones para la acumulación de mayor cantidad de MO. A estos suelos o áreas de suelos se les denomina localmente como *bofedales*. Squeo *et al.* (2006) les clasifica en base a la geomorfología y condiciones hidrológicas en bofedales de laderas, de quebradas y planos (Figura 2-11).

(*) Pablo Norambuena, comunicación personal

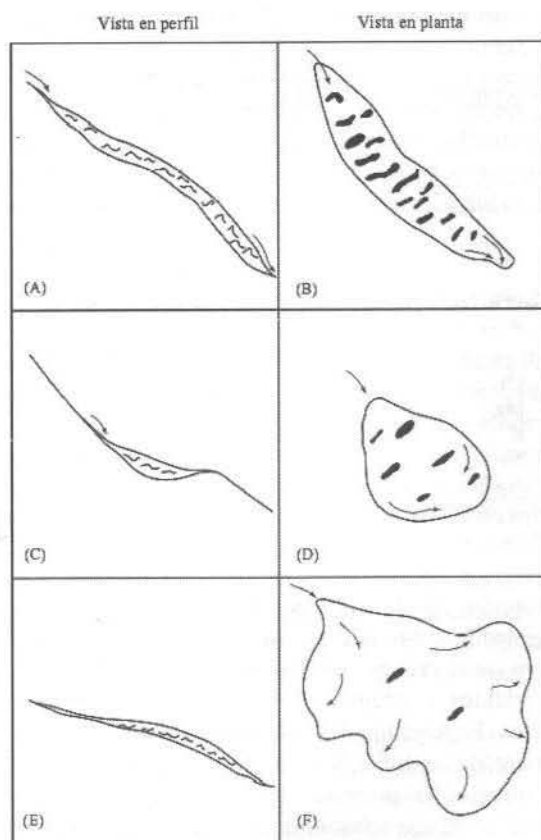


Figura 2-11. Tipos de bofedales en los Andes altos de Chile (A y B: de ladera; C y D: de quebrada; E y F: planos). Las flechas indican la dirección del flujo de aguas (Squeo *et al.*, 2006).

Los perfiles de estos suelos corresponden a una masa compacta de MO en distintas fases de descomposición; poseen un drenaje restringido (régimen de humedad ácuico), fácilmente distinguible por la abundancia de rasgos redoximórficos, tales como empobrecimientos o enriquecimientos en óxidos de Fe; los niveles freáticos pueden, en la época de las lluvias, alcanzar la superficie y, en muchos de ellos, los contenidos de sales son elevados.

Algunas cuencas son exorreicas, por lo cual el nivel freático se encuentra en movimiento constante, impidiendo la acumulación excesiva de sales y la formación de condiciones de reducción. En cambio, otras son endorreicas, lo que ha facilitado la acumulación de sales, las que pueden llegar a constituir una costra dura en la superficie, conformada principalmente por carbonato de calcio (CaCO_3).

Desde el punto de vista físico, en la fracción tierra fina (fracción inferior a 2 mm) domina el separado textural limo (cuadros 2-5 y 2-6). La retención de agua puede variar entre 15,7 y 134,0% a 1.500 kPa y entre 50,0 y 241,0% a 33 kPa. La densidad aparente puede variar entre 0,06 y 0,60 Mg m^{-3} y la densidad de partículas entre 1,39 y 2,22 Mg m^{-3} (Luzio *et al.*, 2002a).

Cuadro 2-5. Algunas propiedades físicas y químicas del bofedal de Surire (Luzio *et al.*, 2002a)

| Profundidad (cm) | | 0 - 20 | 20 - 29 | 29 - 51 | 51-66 | 66-90 |
|--|------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | O _{ek1} | O _{ek2} | 2C _{kg1} | 2C _{kg2} | 2C _r |
| 2-0,05 | | 14,2 | 9,4 | 17,4 | 24,4 | 29,8 |
| 0,05-0,002 | | 72,6 | 67,3 | 57,0 | 61,1 | 48,4 |
| < 0,002 | | 13,2 | 23,3 | 25,7 | 14,5 | 21,2 |
| Clase textural | | FL | FL | FL | FL | F |
| Carbono orgánico (%) | | 8,8 | 13,8 | 4,1 | 2,6 | 2,0 |
| pH _{agua} | | 8,1 | 7,9 | 7,8 | 8,0 | 4,9 |
| pH _{KCl} | | 7,3 | 7,2 | 7,1 | 7,2 | 4,5 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | | 16,0 | 3,9 | 3,0 | 2,6 | 4,0 |
| CaCO ₃ equivalente (%) | | 38,5 | 29,6 | 22,6 | 45,8 | 0,0 |
| Yeso (%) | | --- | --- | --- | --- | 1,2 |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 105 | 65,1 | 57,4 | 45,7 | 9,7 |
| | Mg | 10,0 | 9,6 | 3,8 | 2,4 | 8,9 |
| | K | 262,0 | 2,7 | 1,1 | 0,83 | 0,04 |
| | Na | 59,1 | 18,2 | 4,1 | 2,2 | 2,6 |
| | Suma | 436 | 95,7 | 66,4 | 51,1 | 21,2 |
| Capacidad total intercambio pH 7,0 | | 37,6 | 47,2 | 18,9 | 8,1 | 9,8 |
| Saturación básica pH 7,0 (%) | | 99,0 | 98,0 | | | |

Si bien la descomposición de la MO puede ser muy lenta debido a los efectos del encharcamiento y la oligotrofia sobre la actividad microbiana (Zak and Grigal, 1991), a lo largo del tiempo se mantiene un nivel mínimo de descomposición (Dammann, 1988). Los contenidos de CO pueden ser muy variables e irregulares en su distribución en profundidad, debido a la estratificación de los suelos. En algunos de ellos puede fluctuar entre 33,4 y 41,6%; en cambio en otros, puede ser muy marcada: entre 2,0 y 13,8% (cuadros 2-5 y 2-6). El tipo de pedón más común corresponde a aquel que presenta horizontes fibricos en superficie y sápricos en profundidad, constituyendo un fango saturado a causa de la presencia del nivel freático.

Cuadro 2-6. Algunas propiedades físicas y químicas del bofedal de Caquena (Luzio *et al.*, 2002b)

| Profundidad (cm) | | 0 - 13 | 13 - 24 | 24 - 36 | 36-49 |
|--|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Distribución de partículas por tamaño % | | O ₁₁ | O ₁₂ | O ₁₃ | O ₁₄ |
| 2-0,05 | | 28,3 | 27,3 | 34,3 | 11,1 |
| 0,05-0,002 | | 43,7 | 43,6 | 47,0 | 47,1 |
| < 0,002 | | 28,0 | 29,1 | 18,7 | 41,7 |
| Clase textural | | FA | FA | F | AL |
| Carbono orgánico (%) | | 39,2 | 41,6 | 36,3 | 33,4 |
| pH _{agua} | | 8,5 | 7,7 | 7,6 | 6,7 |
| pH _{KCl} | | 7,9 | 7,1 | 7,1 | 6,3 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | | 2,9 | 2,3 | 2,4 | 2,0 |
| CaCO ₃ equivalente (%) | | --- | --- | --- | --- |
| Yeso (%) | | 0,7 | 0,3 | --- | --- |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 56,0 | 52,4 | 61,3 | 32,6 |
| | Mg | 57,2 | 33,6 | 35,2 | 19,8 |
| | K | 150,0 | 2,9 | 2,9 | 2,5 |
| | Na | 26,3 | 14,6 | 14,3 | 14,0 |
| | Suma | 289,0 | 103,0 | 114,0 | 68,9 |
| Capacidad total intercambio pH 7,0 | | 110,0 | 96,7 | 101,0 | 87,2 |
| Saturación básica pH 7,0 (%) | | 99,0 | 98,0 | --- | --- |

En muchos suelos, el pH_{agua} de los horizontes superficiales está dentro del rango moderadamente alcalino, con una leve disminución en profundidad, hasta ligeramente alcalino o neutro en los horizontes más profundos. En otros suelos se presenta la tendencia a mantenerse dentro del rango ligeramente alcalino en los horizontes subsuperficiales y, sólo en los horizontes más profundos, el pH se encuentra en el rango ácido (cuadros 2-5 y 2-6). A esa profundidad, a causa de la carencia de oxígeno, el S se encuentra en forma de sulfuros, el cual en contacto con el aire se transforma en sulfatos, lo que explicaría el pH ácido encontrado a esa profundidad (Tan, 1993; Soil Survey Staff, 1999).

En la mayoría de estos suelos, la conductividad eléctrica (CE) es mayor en los horizontes superficiales que en los horizontes más profundos (cuadros 2-5 y 2-6). Sin embargo, los niveles de conductividad pueden presentar una gran variabilidad, lo cual se ha atribuido en mayor medida a la posición que los suelos ocupan en el paisaje y su relación con los niveles freáticos. Así, las CE más bajas (2,02 a 2,89 dS m^{-1}) se encuentran en aquellos suelos donde el nivel freático está en movimiento, constituyendo flujos subsuperficiales de agua, de tal forma que la acumulación de sales está impedida. Los bajos niveles de salinidad determinan que el suelo sea calificado como no salino, aun cuando se trate de un bofedal que se encuentra en una posición depresiva del paisaje.

En otros suelos la CE puede ser tan alta como 16 dS m^{-1} en los horizontes superficiales, con un leve decrecimiento irregular en profundidad. Esta mayor acumulación salina se atribuye a que estos suelos se encuentran en cuencas endorreicas con drenaje restringido, lo cual crea las condiciones adecuadas para que se produzca una acumulación importante de sales.

Se considera que los procesos de adición son los más importantes en estos suelos orgánicos. El material parental corresponde a los depósitos orgánicos acumulados durante el Holoceno en cuencas originadas, tanto por los procesos tectónicos pliocénicos como por la actividad volcánica pleistocénica. De esta manera, los suelos orgánicos hidromórficos del Altiplano deben considerarse como suelos recientes. Estos procesos de adición representan una profunda y constante paludización que ha originado una marcada estratificación en la mayoría de los suelos, conjuntamente con las acumulaciones de sales solubles provenientes de la meteorización de los materiales volcánicos en las partes más altas de la cuenca. Las translocaciones están representadas principalmente por las redistribuciones de sales solubles a través de los perfiles, cuya intensidad en general, es muy limitada.

La mayoría de estos suelos orgánicos ha sido clasificado como Haplofibrist y Haplohemist (Soil Survey Staff, 2006). Algunos son también altamente salinos, con CE que puede llegar a los 150 dS m^{-1} . Se les ha clasificado como Endoaquents y Halaquepts/Endoaquepts (figuras 2-12 a 2-17, al final del Capítulo).

Suelos de los Valles Cordilleranos. Los Valles Cordilleranos de orientación este-oeste son estrechos, con un piso relativamente plano y laderas abruptas con abundante pedregosidad y frecuentes afloramientos rocosos (Figura 2-18, al final del Capítulo). La casi totalidad de los suelos descritos son de origen aluvial. Sólo algunos son coluviales o tienen influencia coluvial. Los estudios de suelos realizados son escasos, pudiendo mencionarse algunos, tales como el del valle de río Lluta (Díaz, 1958a), la Quebrada de Camarones (Díaz y Meléndez, 1958), el valle de Azapa (Wright y Meléndez, 1961) y el valle de Chacalluta (Servicio Agrícola y Ganadero, 2002).

De estos estudios - algunos con varios años de antigüedad y otros más recientes - se pueden extraer algunas conclusiones que son comunes a todos los suelos de los valles. En los sectores altioplánicos, los valles son muy estrechos, las pendientes de las laderas son superiores a 100% y con abundante rocosidad. La mayor parte del piso de los valles está constituido por sedimentos gruesos, esencialmente gravas redondeadas y/o facetadas. Hay sectores en los cuales se han logrado formar terrazas aluviales, constituidas por sedimentos de arenas, con clara estratificación y bien seleccionadas. En aquellos casos donde ha existido una ligera evolución, representada principalmente por una escasa acumulación de MO y se ha logrado formar un horizonte A, los suelos alcanzan a cumplir los requerimientos mínimos para clasificar como Entisols (suelos recientes) Gran Grupo Ustorthent (régimen de temperatura frígido).

Otra situación fisiográfica común, es que también en las márgenes de los cursos de agua se producen procesos de paludización, los cuales dan origen a suelos orgánicos o suelos minerales con un elevado contenido de MO, aun cuando la profundidad es escasa y el desarrollo es limitado (Figura 2-19, al final del Capítulo).

2.2 Suelos de la Depresión Intermedia

Desde un punto de vista fisiográfico, estas áreas se caracterizan por presentar superficies ligeramente onduladas y erosionadas; además se observan sectores con costras duras de sales, carbonatos o sílice. Una parte importante de este sector está ocupado por el Desierto de Atacama, considerado como el desierto de aridez continua más antiguo de la Tierra (Clarke, 2006). No obstante, considerando que puedan existir situaciones puntuales que debieran evaluarse individualmente, los suelos que se encuentran en la Depresión Intermedia presentan un régimen de humedad arídico y un régimen de temperatura térmico (entre los 18° y los 29° LS), en las Regiones de Arica y Parinacota (XV), de Tarapacá (I), de Antofagasta (II) y de Atacama (III).

Suelos de Llanuras Depositacionales. El término *llanuras depositacionales* corresponde a una expresión que se utiliza en este texto para indicar a extensas áreas de la zona desértica de Chile entre los 18° y los 29° LS, que se encuentran a alturas aproximadas entre los 1.000 y los 2.800 msnm, es decir, un área jalonada por la Cordillera de Los Andes (y Precordillera) y la Cordillera de la Costa. Corresponde básicamente a un graben constituido por mantos de rocas volcánicas terciarias (ignimbritas, riolitas) que están subyaciendo a importantes depósitos de sedimentos terciarios y cuaternarios aluviales y/o lacustres, así como a riadas holocénicas (Figura 2-20, al final del Capítulo). Las características principales de esta zona son las grandes extensiones con pendientes uniformes y la presencia de suelos con diferentes grados de salinidad. Estas planicies han sido fuertemente erosionadas y disectadas por fenómenos principalmente aluviales, cuya mayor intensidad parece haber ocurrido a comienzos del Cuaternario. Estos fenómenos dejaron como consecuencia, un paisaje de lomas y planos remanentes (llamados pampas), separados entre sí por valles y quebradas de tamaño diverso (Lluta, Azapa, Vitor, Camarones, Chiza, Suca, Tana y Tiliviche, entre las principales). Los valles de mayor tamaño llevan cursos de agua superficiales que, generalmente, se transforman en aguas subterráneas antes de desembocar en el mar. La superficie de estas llanuras depositacionales está constituida comúnmente por gravas, como un pavimento de grandes extensiones similar a un desierto pedregoso, en que los fenómenos de deflación eólica tienen una expresión limitada. Un ejemplo de esta acción eólica limitada la constituyen los barjanes que se distinguen con facilidad al interior de Huara.

En estos amplios sectores se encuentran los que se podrían considerar como los *verdaderos suelos de desierto*, descritos muy tempranamente por Díaz y Wright (1965) y que se caracterizan por un desarrollo de perfil muy débil, en los cuales es posible encontrar mezclas de sedimentos aluviales y coluviales y que, además, pueden ser salinos. Dentro de este grupo también se incluyen los suelos del piedmont de la Cordillera de Los Andes que ocupan grandes sectores, donde se encuentran algunos de los *oasis* más importantes de la zona.

Los suelos de estas áreas ocupan posiciones de lomajes o de cerros bajos, con pendientes que no son superiores a 10%. Presentan abundante pedregosidad superficial (40%) constituida básicamente por fragmentos angulares de composición básica y ácida mezclados. Los suelos son delgados, desarrollados sobre una toba riolítica, con una textura gruesa en el horizonte superficial, de color pardo a pardo oscuro y sin estructura (grano simple). Estos suelos responden al concepto de Torriorthents (Soil Survey Staff, 2006). En otros casos, es posible encontrar suelos con un mayor grado de desarrollo, evidenciado por la presencia de un horizonte B, de débil expresión, con una clase textural moderadamente gruesa y una estructura de bloques subangulares.

Aun cuando la vegetación de estas áreas es muy escasa y, en sectores, completamente inexistente, muchos de los suelos descritos en ellas presentan una distribución de raíces heterogénea en profundidad y que alcanzan hasta el sustrato rocoso. Este sustrato (horizonte R), puede presentar grietas, en las caras de las cuales existen recubrimientos de materiales calcáreos, lo cual evidenciaría algún proceso de translocación de componentes a través del perfil. Aquellos suelos que presentan algún grado de desarrollo (principalmente evidenciado por la presencia de un horizonte B) han sido clasificados como Aridisols, es decir, suelos representativos de regiones áridas y desérticas, y que presentan algún grado de evolución. Se les considera principalmente, como Lithic Haplocambids.

En algunas cuencas depositacionales de topografía plana, con microrelieve acentuado en sectores, se encuentran suelos estratificados, de texturas gruesas, desde arenosa hasta franco arenosa (Figura 2-21, al final del Capítulo). En algunos de estos suelos se suelen intercalar estratas de texturas más finas, que pueden ser limosas a franco limosas. Aun cuando no se les incluye en el concepto de *salares*, pueden presentar altos contenidos de sales, con una conductividad eléctrica que es irregularmente variable en profundidad, desde 2 hasta 30 dS m⁻¹, pues se asocia a la naturaleza de la estrata. Al mismo tiempo pueden presentar contenidos variables de carbonatos, desde 1 a 6%. En estos casos el complejo de intercambio está dominado por Ca⁺⁺ (Cuadro 2-7).

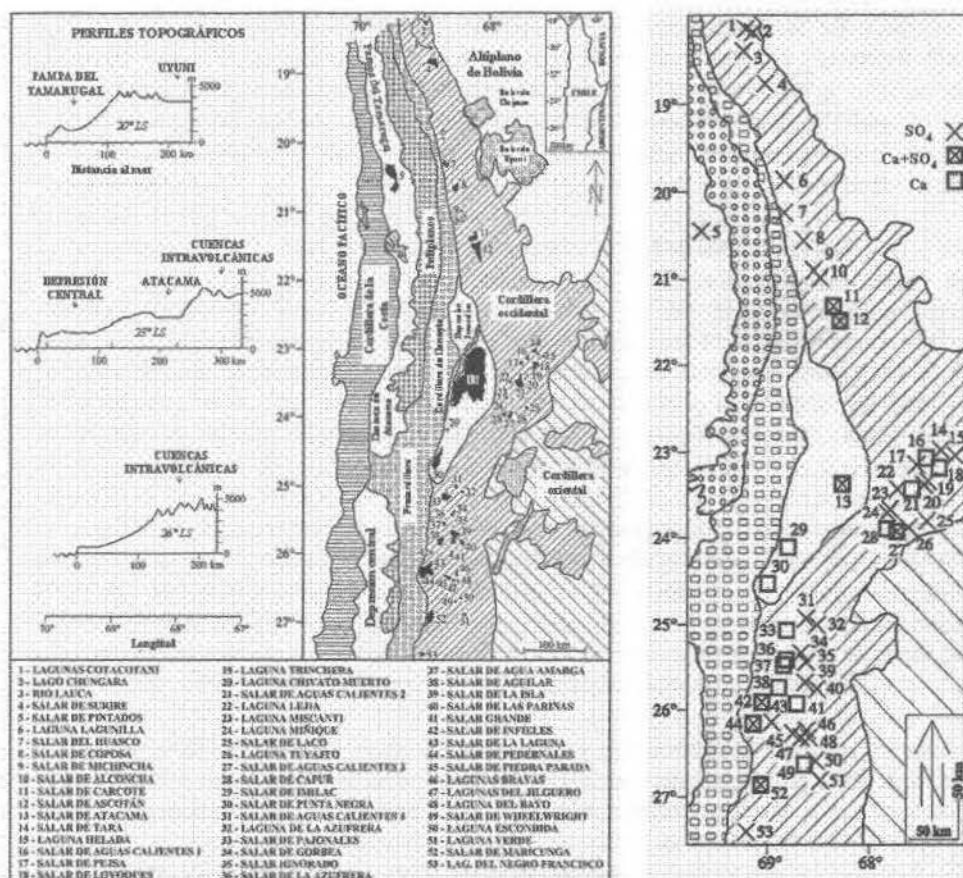
Suelos con alto contenido salino (salares). Hacia finales del Pleistoceno, se produjo un intenso período de actividad volcánica en la Cordillera de Los Andes, el cual se prolongó hasta el Holoceno Reciente y que generó estructuras volcánicas andesíticas que sobrepasan los 6.000 msnm. Sus efusiones jugaron un papel importante en el control de la red de drenaje y en el desarrollo de cuencas lacustres elevadas en el Altiplano. Es en este período cuando se desarrollaron los depósitos evaporíticos acumulados en los salares (González, 1965).

Una inusual escasez regional de carbonatos y una abundancia de sulfatos y cloruros ha sido observada por numerosos investigadores (Alonso *et al.*, 1991; Risacher and Fritz, 1991), aunque se informan algunos casos de concentraciones locales de nitratos, boratos, yodatos, cromatos, potasio y litio (Ericksen, 1983; Searl and Rankin, 1993). En la mayoría de los lagos salinos del mundo, acorde al modo de evolución observado, se identifican 3 grupos principales: alcalinos (Na/HCO₃-CO₃-Cl, pH > 9, trazas de Ca y Mg), ricos en sulfatos (Na/SO₄-Cl, bajos en Ca, pH < 9), ricos en Ca (Na-Ca/Cl, bajos en SO₄, pH < 9). En el norte de Chile la mayor parte de los

salares descritos pertenece al grupo de los ricos en Ca y/o ricos en SO₄ (Figura 2-22). Según Risacher *et al.* (2003) los salares alcalinos casi no existen.

Cuadro 2-7. Características físicas y químicas de un suelo de las Llanuras Depositacionales, cerca de Pica (S.A. CORFO-UCH, 1982a)

| Profundidad (cm) | | 0-20 | 20-31 | 31-105 |
|--|--|----------------|-------|--------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | A ₁ | 2B | R |
| 2-0,05 | | 70,6 | 42,6 | 64,6 |
| 0,05-0,002 | | 12,8 | 22,8 | 22,8 |
| < 0,002 | | 16,6 | 34,6 | 12,6 |
| Clase textural | | Fa | FA | Fa |
| Carbono orgánico (%) | | 0,12 | 0,16 | 0,52 |
| pH _{agua} | | 8,4 | 8,8 | 8,2 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | | 0,6 | 0,7 | 4,0 |
| CaCO ₃ equivalente (%) | | 0,0 | 0,0 | 4,51 |
| Cationes extraíbles | | Ca | 30,0 | 27,0 |
| (cmol _c kg ⁻¹) | | Mg | 5,3 | 1,8 |
| | | K | 3,9 | 1,3 |
| | | Na | 2,4 | 4,0 |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | | 8,8 | 3,3 | 13,7 |



2-22. Ubicación y composición química (SO₄ y/o Ca) de varios salares del norte de Chile (Risacher *et al.*, 2003).

La falta de alcalinidad se atribuye a la abundancia de S nativo en la Cordillera Occidental y a la deposición atmosférica de polvo del desierto rico en yeso. La oxidación del S produce SO_4 que acidifica las aguas que fluyen, reduciendo drásticamente su contenido de carbonato.

Se puede considerar que los suelos desarrollados en estos depósitos evaporíticos representan una situación extrema en cuanto a las características y propiedades. Esto se debe a que, aun cuando estos suelos poseen una costra superficial sellada, extremadamente dura (que en algunos casos puede tener hasta un metro de espesor) constituida por sales como sulfatos, cloruros y eventualmente carbonatos, puede prosperar una vegetación en buenas condiciones (figuras 2-23 y 2-24, al final del Capítulo). En general la topografía es plana a suavemente ondulada con microrelieve fuerte. La marcada estratificación de los suelos indica que la depositación de los sedimentos tiene su origen en acciones de carácter lacustre o bien, como depósitos de fondos marinos. De todas maneras, la evolución edáfica es incipiente y, en ocasiones inexistente, es decir, se podría calificar como una sucesión de capas de sedimentos (Figura 2-25, al final del Capítulo).

La característica común que presentan todos estos suelos de salares es la presencia de una costra superficial muy dura, quebradiza, de espesor variable (de 13 a 30 cm) constituida esencialmente por cloruros y sulfatos y muy secundariamente, por carbonatos. Estos salares fueron reconocidos primariamente por Díaz y Wright (1965), quienes describieron a estos suelos con una costra superficial de cloruro de sodio *la cual corrientemente se quiebra en placas individuales y se curvan como trozos de alfarería quebrada*. Incluso describen su superficie, tal como si diera la impresión de espuma de olas, un mar agitado o una superficie de coral. Estos autores (*op.cit.*) consideran que el origen de los salares se encuentra en la acumulación eólica de cristales salinos, debido a que en estas cuencas no existe un nivel freático dentro de los 50 a 100 cm superficiales y, por lo tanto, la acumulación de las costras salinas sólo podría tener un origen eólico.

Sin embargo, es difícil pensar que la formación de los salares sea el resultado de procesos holocénicos, con especial connotación eólica. Mortensen (citado por Brüggén, 1950) señala la escasa importancia de los vientos en el desierto del norte del país, cuya influencia sólo ha generado rasgos de escasa incidencia en el paisaje. Más aún, Brüggén (1950), insiste en la formación de enormes cuerpos de agua lacustrinos post-pleistocénicos, sin una red de drenaje definido. La pérdida de las aguas de los lagos por evaporación, constituiría el punto de partida de la salinización. Es posible que la acumulación de sales sea aún un proceso activo, aun cuando en la actualidad esté más relacionado con el ascenso capilar desde los niveles freáticos que se encuentran a escasa profundidad.

Más recientemente, los procesos de distribución de sales en ambientes áridos ha sido examinada por diferentes autores (Goudie *et al.*, 2002; Bao *et al.*, 2004). Para Goudie *et al.* (2002) las fuentes regionales de sales en el norte de Chile han sido principalmente el océano, la actividad volcánica y la meteorización de rocas y, secundariamente, habría existido un aporte cíclico de acumulaciones salinas preservadas (dada la aridez prolongada) en depósitos geológicos (Figura 2-26). Bao *et al.* (2004) estiman que el sulfato secundario de los suelos de Atacama proviene, principalmente, del sulfato derivado de la oxidación de S Gaseoso atmosférico. las fuentes de este S gaseoso reducido, incluyen emisiones biológicas del océano cercano y probablemente en menor proporción, proviene de las emisiones volcánicas de sitios cercanos o remotos.

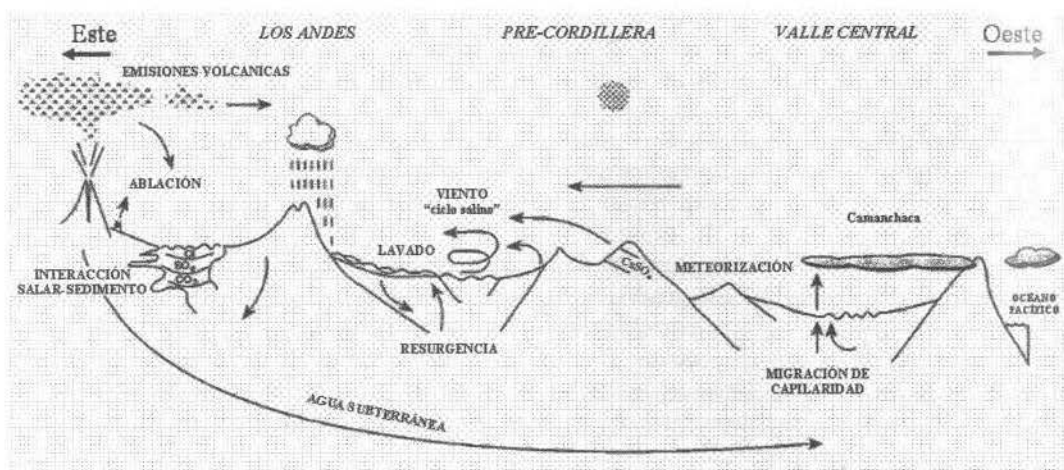


Figura 2-26. Ilustración de las fuentes de sales y mecanismos de concentración que pueden ocurrir a lo largo de un transecto regional del norte de Chile (Berger and Cooke, 1997).

El pH en la costra de estos salares, puede fluctuar entre 8,5 y 8,9. La característica común a la mayoría de estos suelos la constituye el aumento del pH con la profundidad, alcanzando valores de hasta 9,8 a los 100 cm (Cuadro 2-8). La CE puede llegar a 500 dS m^{-1} , y solamente en algunos casos puede bajar a 150 dS m^{-1} , siguiendo una tendencia inversa a la del pH; esto es, decrece con la profundidad, llegando a valores de 10 y 25 dS m^{-1} . La MO en la costra superficial es muy baja, normalmente es inferior a 0,3%; sin embargo, es frecuente que en la segunda estrata inmediatamente debajo de la costra, ésta aumente hasta 0,5%. Esto se podría explicar porque a esa profundidad se produce la máxima acumulación de raíces. En el resto del perfil la MO sigue la tendencia normal, es decir, disminuye hacia los horizontes o estratas más profundas. A diferencia de lo que pudiera pensarse, el contenido de CaCO_3 en la costra y a través de las estratas en profundidad es bajo, normalmente inferior a 2%; sólo en algunas estratas, bajo los 70 cm, claramente definidas de acumulación de carbonatos, se pueden alcanzar valores cercanos al 10%.

La CIC presenta valores muy irregulares en profundidad, lo cual se debe a la marcada estratificación de estos suelos. Puede variar, desde una capa a otra, desde 6 hasta $28 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, sin que exista una clara relación con el contenido de la fracción fina (arcilla) de cada estrata. No existen estudios acerca de la mineralogía de la fracción arcilla que pudieran explicar esta tendencia. En el complejo de intercambio, el Na^+ alcanza valores muy elevados en la costra (hasta $750 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), lo cual implica una saturación del complejo sobre el 35% con Na^+ . Hacia las estratas más profundas, los valores absolutos de Na^+ disminuyen ($10\text{-}15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); sin embargo, el porcentaje de saturación del complejo aumenta hasta 46%. El segundo catión en importancia es el Ca^{++} , seguido por el K^+ y el Mg^{++} (Cuadro 2-8). De acuerdo con Soil Survey Staff (2006) estos suelos satisfacen los requerimientos de los Typic Haplosalids.

Cuadro 2-8. Características físicas y químicas de un suelo de Salar de Pintados (S.A. CORFO-UCH, 1982b)

| Profundidad (cm) | 0-30 | 30-50 | 50-78 | 78-85 | 85-117 | 117-130 | |
|--|-----------|--------|--------|-----------|--------|---------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A_{mvs} | $2C_1$ | $2C_2$ | $3C_{km}$ | $4C_3$ | $5C_4$ | |
| 2-0,05 | 32,6 | 38,6 | 17,4 | 21,4 | 67,4 | 13,4 | |
| 0,05-0,002 | 60,0 | 27,4 | 36,0 | 58,0 | 22,0 | 53,2 | |
| < 0,002 | 61,4 | 43,0 | 46,6 | 20,6 | 10,6 | 33,4 | |
| Clase textural | A | A | A | FL | Fa | FAL | |
| Carbono orgánico (%) | 0,07 | 0,33 | 0,28 | 0,04 | 0,11 | 0,06 | |
| pH _{agua} | 8,6 | 8,8 | 8,9 | 9,5 | 9,1 | 9,6 | |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 54,0 | 150,0 | 150,0 | 64,5 | 18,8 | 25,0 | |
| CaCO ₃ equivalente (%) | 1,86 | 1,01 | 0,0 | 9,5 | 0,0 | 0,0 | |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 33,8 | 8,6 | 8,3 | 17,5 | 1,65 | 3,9 |
| | Mg | 0,29 | 1,0 | 1,0 | 0,8 | 0,4 | 0,7 |
| | K | 225,0 | 16,5 | 14,0 | 9,0 | 6,5 | 10,0 |
| | Na | 575,0 | 63,5 | 65,0 | 30,5 | 12,2 | 21,5 |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | 5,0 | 28,7 | 20,0 | 20,0 | 8,1 | 22,5 | |

2.3 Suelos del Sector Costero

Los suelos que se encuentran en estas áreas, ocupan una franja costera que se extiende desde la línea de costa oceánica hasta aproximadamente la línea de máxima altura de la Cordillera de la Costa; entre los 18° y los 29° LS. Los suelos tienen un régimen de humedad arídico y un régimen de temperatura isotérmico. En su mayoría se les ha considerado como Torriorthents y, aquellos con un mayor desarrollo de perfil, como Haplocambids.

La Cordillera de la Costa propiamente tal, está litológicamente formada por rocas sedimentarias marinas del Jurásico, con algunas intrusiones de rocas graníticas que varían entre granitos, granodioritas y gabros (Mortimer and Rendic, 1975). Corresponde a una zona cuya cota superior no sobrepasa los 1.000 msnm, siendo los rasgos más característicos del paisaje los acantilados, las formaciones coluviales, los valles con pequeños cursos de agua que llegan hasta el mar y una franja litoral, constituida por terrazas marinas de escasa magnitud y desarrollo (Figura 2-27, al final del Capítulo).

La Cordillera de la Costa cae abruptamente al mar en forma de acantilados de varios cientos de metros de altura, en la base de los cuales se forma una sucesión continua de coluvios. Así se estructura una estrecha franja litoral, formada por depósitos sedimentarios que dan origen a escasas y angostas playas de rodados y arenas. Esta franja litoral es discontinua, de modo que hay sectores en los cuales la Cordillera cae directamente al mar. En estas verdaderas terrazas marinas, los escasos afloramientos rocosos están profundamente meteorizados, producto de la elevada humedad ambiental, la excesiva salinidad y la fluctuación diaria de temperatura. La formación de estas terrazas marinas está restringida a las cercanías de los cauces que llegan al mar, tales como ocurre en la Quebrada de Tiliviche, Río Camarones, Caleta Vitor y Río Loa. En estos sectores es posible distinguir uno o dos niveles de terrazas, formadas entre la línea de la más alta marea y el escarpe propiamente tal de la Cordillera de la Costa.

Algunos suelos desarrollados en estas terrazas están formados por una sucesión de estratas, ya sean de origen claramente marino o claramente coluvial. Las primeras evidencian gravas redondeadas con pulimento marino; las segundas están constituidas por gravas angulares, con una matriz arenosa gruesa. El pH generalmente se encuentra sobre 8,4, pudiendo alcanzar valores de

9,2. A causa de la marcada influencia marina, la presencia de carbonatos es frecuente, por lo que el complejo de intercambio está dominado por Ca^{++} ; sin embargo, entre los cationes solubles domina el Na^+ , pudiendo alcanzar una Relación de Adsorción de Sodio (RAS) de 25,2.

En los sectores donde la Cordillera llega directamente al mar, sin una transición de terrazas, como ocurre en las proximidades del paralelo 25° LS, en las cercanías de Taltal, el relieve es muy escarpado. Las pendientes son superiores a 20%, con abundante pedregosidad tanto en superficie como en profundidad, con afloramientos rocosos comunes (Figura 2-28, al final del Capítulo). La litología dominante corresponde a granito rosado, andesita y gneiss granítico. También se han descrito evidencias de erosión hídrica. Los suelos son delgados sobre un sustrato formado por gravas angulares que pueden ocupar el 80% en volumen. El pedón que se ha tomado como ejemplo (Cuadro 2-9), posee texturas gruesas a través de todo el perfil, con un alto contenido de MO en los primeros centímetros, lo cual corresponde a una acumulación muy superficial de restos orgánicos, derivado del ecosistema de Matorral Mediterráneo donde fue descrito (S.A. CORFO - UCH, 1982b). También existe una ligera acumulación de carbonatos en superficie y una CE muy elevada, pero solamente en los 5 cm superficiales. Los suelos que se encuentran en estos ecosistemas, generalmente presentan un horizonte A delgado, producto de la acumulación de restos vegetales, con un límite abrupto con los horizontes B o C subyacentes. La pedregosidad angular, abundante en el perfil, constituye una evidencia de los procesos coluviales a los que ha estado sometido todo el sector (Figura 2-29, al final del Capítulo).

Cuadro 2-9. Características físicas y químicas de un suelo de la Cordillera de la Costa en las proximidades de Taltal, 25°00'11" - 70°25'36" (S.A. CORFO-UCH, 1982b)

| Profundidad (cm) | 0 - 5 | 5-36 | 36-100 | |
|--|-------|----------------|----------------|-----|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A | C ₁ | C ₂ | |
| 2-0,05 | 63,4 | 64,4 | 70,4 | |
| 0,05-0,002 | 22,6 | 18,6 | 13,6 | |
| < 0,002 | 14,0 | 17,0 | 16,0 | |
| Clase textural | Fa | Fa | Fa | |
| Carbono orgánico (%) | 5,1 | 0,9 | 1,0 | |
| pH _{agua} | 8,8 | 8,4 | 8,4 | |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 54,0 | 150,0 | 150,0 | |
| CaCO ₃ equivalente (%) | 1,1 | 0,2 | 0,2 | |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 25,9 | 4,2 | 8,1 |
| | Mg | 8,9 | 4,6 | 2,8 |
| | K | 1,6 | 1,6 | 0,6 |
| | Na | 4,1 | 3,0 | 2,1 |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | 14,9 | 10,9 | 7,8 | |

El elevado relieve de la Cordillera de la Costa, se caracteriza además por ser una zona de fallas que contrasta con las superficies ligeramente onduladas, erosionadas y con costras duras de las áreas del Interior. Su parte norte se observa disectada por quebradas y cañones muy profundos. Solo los troncales de las quebradas contienen cauces con flujo activo o intermitente; algunos tributarios son relictos y no contienen evidencias de flujo reciente o de sedimentos fluviales relictos en sus fondos.

2.4 Suelos del Valle de Copiapó

Los suelos del valle del río Copiapó se encuentran sobre sedimentos fluviales recientes, probablemente retrabajados, debido a que las etapas de sedimentación pudieron haber sido alteradas por fases cambiantes de erosión, transporte y sedimentación. Estos procesos de alteración de las fases de sedimentación aluvial pudieran haber tenido su origen en los aportes de materiales provenientes de las quebradas que desembocan en el valle, tales como Paipote, Meléndez, Pintada, Cerrillos, Hornitos, Los Loros y otras de menor importancia. El valle presenta dos fases diferentes de evolución. En el curso superior y medio presenta formas de escasa evolución geomorfológica, caracterizadas por paredes abruptas, valle con perfil en V y un curso sin meandrar. Aquí, los sedimentos se caracterizan por la predominancia de materiales gruesos (desde arenas finas hasta gravas medias), aun cuando localmente se han depositado sedimentos más finos, tales como arenas finas, limos y hasta materiales del tamaño arcilla. Uno de los suelos que caracteriza a estos sectores altos del valle corresponde a la Serie Amolanas, que tiene abundante pedregosidad angular en superficie y a través del perfil (figuras 2-30 y 2-31, al final del capítulo). En el curso inferior, desde Chamonate hacia la costa, el valle se ensancha, las paredes son menos escarpadas y su fondo es plano, constituyendo prácticamente una penillanura. En este sector dominan los materiales más finos, tales como limos y arcillas; además, constituyen las áreas de acumulación de sales y de carbonatos.

Los suelos de la sección superior del valle - esto es, desde la ciudad de Copiapó hacia el este - se caracterizan por una marcada estratificación de origen aluvial, con texturas gruesas en superficie (franco arenosas) y que pueden llegar hasta franco arcillo arenosas. En profundidad se intercalan estratas de arenas y gravas, conjuntamente con otras de clases texturales más finas. En la mayoría de ellas se encuentran abundantes filamentos de carbonatos de calcio, con fuerte a violenta reacción al HCl. Las discontinuidades litológicas entre los horizontes señalan una sucesión de procesos de sedimentación importantes que han rellenado el fondo del valle. Algunos de los horizontes han alcanzado el desarrollo pedogénico necesario como para considerarlos horizontes B. Todos estos suelos forman parte del sistema de terrazas del río Copiapó y como tales, presentan pendientes moderadas, no superiores al 3%. Uno de los suelos más representativos de este sector y que responde a estas características morfológicas y geomorfológicas, es el suelo Apacheta, que se puede apreciar en las figuras 2-32 y 2-33, al final del Capítulo. En el Cuadro 2-10 se presentan las propiedades físicas y químicas de este suelo, tomadas del Estudio Agrológico del Valle de Copiapó (CIREN, 2007).

En el mismo sector se encuentran los suelos desarrollados en posición de coluvios, que en los últimos años han sido habilitados para su utilización, esencialmente con parronales. Se trata de suelos de escasa evolución pedogénica, pero que ha sido suficiente para el desarrollo de una estructura débil y consecuentemente, se ha logrado evidenciar un horizonte B. Presentan abundante pedregosidad en superficie y en el perfil que, en algunos casos, impide determinar la clase textural al tacto a causa de su abundancia. Los colores se mantienen en el pardo rojizo oscuro (5YR3/2-3/3) y algunos perfiles tienen reacción al HCl.

En la parte baja del valle, es decir, desde la ciudad de Copiapó hacia Caldera, el valle se ensancha y los suelos presentan algunos rasgos que difieren de los suelos de la parte alta. Aquellos que ocupan la posición de terrazas remanentes, presentan pendientes no superiores a 3%, tienen altos contenidos de sales y de carbonatos a través de todo el perfil. Los suelos son profundos, estratificados, cuyos colores varían entre los matices 10YR, 7.5YR y 5YR y cuyas clases texturales son predominantemente finas, esto es franco arcillo limosa, franco arcillosa y arcillosa. La

mayoría de ellos presenta una estrata de MO de color negro (10YR2/1), a profundidades variables. El pH tiene valores normalmente sobre 8,0 pudiendo llegar hasta 8,8. La CE es alta, con valores hasta los 85 dS m⁻¹, con la particularidad que, en todos los suelos analizados, los valores más elevados se encuentran en el horizonte A_p, con un fuerte decrecimiento en el segundo horizonte. Algo similar ocurre con la RAS, que alcanza un valor de hasta 110 en el horizonte superficial, para descender a 20 en el horizonte subyacente.

Estas acumulaciones de sales en superficie deben tener su explicación en problemas de manejo, fundamentalmente en el sistema de riego y en la forma cómo los agricultores están aplicando agua a los cultivos. No se trata de acumulaciones de sales con origen genético, por lo tanto su origen se considera esencialmente antrópico. De todas maneras, la mayoría de los suelos cae en el concepto de suelos salinos (en algunos casos de *muy fuertemente salino*) y algunos horizontes caen en el concepto de salino sódico. Es muy interesante destacar que, aun cuando la salinidad y, en algunos casos la sodicidad son extremas, se han desarrollado explotaciones agrícolas en buenas condiciones, tales como vid, limoneros y olivos en el caso de frutales y tomates, alcachofas y espárragos en el caso de cultivos. El suelo más representativo de este grupo corresponde a la Serie Ramadillas (figuras 2-34 y 2-35, al final del Capítulo). En el Cuadro 2-11 se presentan las propiedades físicas y químicas de este suelo tomadas del Estudio Agrológico del Valle de Copiapó (CIREN, 2007).

Cuadro 2-10. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de la Serie Apacheta (CIREN, 2007)

| Profundidad (cm) | | 0 - 11 | 11 - 48 | 48 - 60 | 60 - 80 | 80 - 91 | 91 - 120 |
|--|----|----------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | A _p | B | 2C ₁ | 3C ₂ | 4C ₃ | 5A _b |
| 2-0,05 | | 23,0 | 31,0 | 19,0 | 33,0 | 5,0 | 37,0 |
| 0,05-0,002 | | 51,0 | 31,0 | 63,0 | 43,0 | 84,0 | 41,0 |
| < 0,002 | | 26,0 | 38,0 | 18,0 | 24,0 | 11,0 | 22,0 |
| Clase textural | | FL | FA | FL | F | FL | F |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 17,2 | 22,8 | 11,5 | 19,0 | 6,4 | 18,7 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | | 8,8 | 12,6 | 5,7 | 8,3 | 2,9 | 7,7 |
| pH _{agua} | | 7,7 | 8,2 | 8,5 | 8,5 | 8,6 | 8,6 |
| Carbono orgánico (%) | | 1,33 | 1,22 | 0,17 | 0,17 | 0,12 | 0,29 |
| CaCO ₃ equivalente (%) | | 4,3 | 6,0 | 2,0 | 3,8 | 1,5 | 2,6 |
| Yeso (%) | | 0,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | | 8,1 | 1,8 | 1,3 | 1,3 | 0,7 | 1,0 |
| Cationes disueltos (mmol _c L ⁻¹) | Ca | 42,9 | 10,5 | 6,9 | 7,7 | 3,6 | 5,3 |
| | Mg | 22,6 | 3,6 | 2,3 | 2,5 | 1,2 | 1,9 |
| | K | 3,1 | 1,0 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,2 |
| | Na | 38,0 | 4,5 | 3,4 | 3,7 | 2,3 | 2,9 |
| RAS | | 6,6 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 |
| PSI (calculado de la RAS) | | 8,8 | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 2,1 | 2,1 |
| Saturación de agua (%) | | 37,4 | 44,5 | 24,7 | 34,9 | 25,9 | 33,4 |
| Extracción con acetato de NH ₄ (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 30,80 | 23,80 | 14,70 | 23,50 | 8,50 | 23,50 |
| | Mg | 5,42 | 4,11 | 2,17 | 3,19 | 1,48 | 3,39 |
| | Na | 2,48 | 0,61 | 0,3 | 0,41 | 0,23 | 0,43 |
| | K | 1,35 | 1,31 | 0,43 | 0,52 | 0,24 | 0,49 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | K | 1,2 | 1,26 | 0,42 | 0,51 | 0,24 | 0,48 |
| | Na | 1,06 | 0,41 | 0,22 | 0,28 | 0,17 | 0,33 |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | | 16,8 | 18,9 | 9,6 | 11,8 | 3,9 | 13,5 |
| Saturación de bases (%) | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Saturación de Na (%) | | 6,3 | 2,2 | 2,2 | 2,4 | 4,4 | 2,5 |

Cuadro 2-11. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de la Serie Ramadillas (CIREN, 2007)

| Profundidad (cm) | | 0 - 21 | 21 - 39 | 39 - 58 | 58 - 76 | 76 - 87 | 87 - 110 |
|--|----|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | A_p | B₁ | B₂ | B₃ | 2O₁ | 3B_b |
| 2-0,05 | | 68,0 | 35,0 | 59,0 | 44,0 | 69,0 | 55,0 |
| 0,05-0,002 | | 6,0 | 5,0 | 19,0 | 16,0 | 21,0 | 15,0 |
| < 0,002 | | 29,0 | 60,0 | 22,0 | 40,0 | 10,0 | 30,0 |
| Clase textural | | FAa | A | FAa | A | Fa | FAa |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 37,6 | 39,7 | 38,1 | 41,9 | 41,0 | 38,3 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | | 20,3 | 23,3 | 22,6 | 26,0 | 22,4 | 22,1 |
| pH _{agua} | | 7,7 | 8,1 | 7,9 | 7,9 | 7,8 | 8,0 |
| Carbono orgánico (%) | | 2,03 | 1,28 | 0,41 | 0,41 | 1,04 | 0,23 |
| CaCO ₃ equivalente (%) | | 8,5 | 9,6 | 1,6 | 1,9 | 2,5 | 15,2 |
| Yeso (%) | | 0,71 | 0,00 | 1,09 | 1,08 | 1,13 | 1,09 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | | 33,7 | 9,0 | 9,0 | 10,8 | 9,6 | 9,0 |
| Cationes disueltos (mmol _c L ⁻¹) | Ca | 117,3 | 26,8 | 24,6 | 24,8 | 22,6 | 25,4 |
| | Mg | 123,4 | 17,7 | 21,8 | 34,1 | 42,6 | 32,1 |
| | K | 8,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| | Na | 190,1 | 62,5 | 62,9 | 78,9 | 63,1 | 55,2 |
| RAS | | 17,3 | 13,2 | 13,1 | 14,5 | 11,1 | 10,3 |
| PSI (calculado de la RAS) | | 19,6 | 15,5 | 15,3 | 16,8 | 13,1 | 12,2 |
| Saturación de agua (%) | | 77,1 | 80,8 | 65,8 | 76,4 | 70,7 | 73,1 |
| Extracción con acetato de NH ₄ (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 62,2 | 48,9 | 104,0 | 109,0 | 129,0 | 112,0 |
| | Mg | 19,3 | 10,7 | 9,9 | 17,1 | 14,8 | 12,2 |
| | Na | 16,1 | 8,78 | 6,78 | 9,65 | 5,91 | 5,83 |
| | K | 6,59 | 1,27 | 0,95 | 1,17 | 0,65 | 0,81 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | K | 5,96 | 1,19 | 0,89 | 1,09 | 0,59 | 0,75 |
| | Na | 1,43 | 3,73 | 2,64 | 3,63 | 1,44 | 1,79 |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | | 33,0 | 31,7 | 27,3 | 30,4 | 27,5 | 23,6 |
| Saturación de bases (%) | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Saturación de Na (%) | | 4,3 | 11,8 | 9,7 | 11,9 | 5,3 | 7,6 |

Al igual que en la parte superior del valle, también en este sector se encuentran suelos en posición de coluvios que han alcanzado un limitado desarrollo, de tal forma que deben considerarse como suelos esqueléticos. Los colores son variables, pero domina el matiz 5YR. Las clases texturales son generalmente gruesas, tales como franco arenosas o arenosas y ocasionalmente, se puede encontrar algún horizonte de clase textural franco arcillo arenosa. El contenido de gravas angulares y subangulares, entre 2 y 10 cm de diámetro, puede alcanzar el 80% en volumen, con una matriz abundante en grava fina. A diferencia de los suelos en igual posición en la parte superior del valle, en este sector bajo todos los suelos presentan una fuerte reacción al HCl en todos los horizontes. La Unidad No Diferenciada Bramador (CIREN, 2007) clasificada tentativamente como Torriorthent constituye un ejemplo de esta clase de suelos (figuras 2-36 y 2-37, al final del Capítulo).

2.5 Suelos del Valle de Huasco

Este valle se encuentra entre los denominados *valles transversales* que se extienden desde los cordones de la Cordillera de Los Andes y llegan hasta el Océano Pacífico. A la altura de la ciudad de Vallenar el valle se ensancha en un conjunto de amplias terrazas a ambos lados del río (CICA-HIDROCONSULT, 1980). En el Estudio Agrológico del Valle del Río Huasco (*op.cit.*) se definieron 12 Series de Suelos, que se aprecian espacialmente en la Figura 2-39. En el Estudio Agrológico del Valle de Copiapó y Valle del Huasco (CIREN, 2007) se estableció una correlación de la cartografía de tal manera que se identificaron 11 Series de Suelos y 6 Tipos Misceláneos de Terrenos. En este capítulo se describen Agrupaciones de Suelos de acuerdo con la posición fisiográfica que ellos ocupan, estableciendo los siguientes grupos:

Suelos aluviales recientes en terrazas de posición baja. Corresponden a suelos muy estratificados y sin desarrollo de perfil que se encuentran en las márgenes de los ríos. Son de texturas gruesas y medias con pedregosidad en la superficie y a través del perfil; normalmente con topografía plana. Dentro de este grupo se hizo la diferenciación entre los suelos con problemas de drenaje y salinidad, separándolos de aquellos sin salinidad y con buen drenaje. Los primeros se ubican en sectores más bajos del valle; en cambio, los suelos bien drenados se ubican en la parte alta y media del mismo. Se puede señalar que la Serie Huasco es representativa de los suelos aluviales recientes de las terrazas planas o casi planas, cuyo sustrato está constituido por gravas redondeadas con matriz arenosa o areno francosa. En el Cuadro 2-12 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de la Serie Huasco (CIREN, 2007).

Cuadro 2-12. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de la Serie Huasco (CIREN, 2007)

| Profundidad (cm) | | 0 - 17 | 17 - 44 | 44-75 |
|---|------------|----------------|----------------|-------|
| | | A _p | A ₁ | AC |
| Distribución de partículas por tamaño (%) | 2-1 | 1,3 | 6,5 | 3,6 |
| | 1-0,5 | 5,4 | 9,0 | 11,1 |
| | 0,5-0,25 | 14,0 | 15,6 | 21,0 |
| | 0,25-0,10 | 19,5 | 18,9 | 24,8 |
| | 0,10-0,05 | 12,4 | 12,2 | 11,9 |
| | 2-0,05 | 52,6 | 62,2 | 72,4 |
| | 0,05-0,002 | 30,9 | 20,5 | 15,8 |
| | < 0,002 | 16,5 | 17,3 | 11,8 |
| Clase textural | | Fa | Fa | Fa |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 21,7 | 17,4 | 11,9 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | | 11,3 | 8,8 | 3,0 |
| Carbono orgánico (%) | | 2,4 | 1,1 | 0,7 |
| pH _{agua} | | 8,3 | 8,2 | 8,1 |
| CaCO ₃ (%) | | 2,5 | 0,2 | 0,0 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | | 0,6 | 0,7 | 1,2 |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | nd | nd | 11,3 |
| | Mg | nd | nd | 2,6 |
| | K | 0,5 | 0,4 | 0,1 |
| | Na | 0,4 | 0,2 | 0,1 |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | | 19,2 | 18,0 | 14,2 |

Suelos de terrazas de posición alta. También dentro de este grupo se hacen diferencias derivadas de los rasgos morfológicos de los suelos. Así, se identifican los suelos de escasa evolución, de texturas gruesas, abundante pedregosidad, de topografía plana y con buena permeabilidad y drenaje. En segundo lugar, se identifican los suelos sobre *tertel*, estrata que se

encuentra a escasa profundidad. Algunos de estos suelos presentan además, acumulaciones de carbonato de calcio (Cuadro 2-13). En tercer lugar, se encuentran suelos con acumulaciones de carbonato de calcio y sin *tertel*.

Cuadro 2-13. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un suelo de terrazas de posición alta con *tertel*, Ventanas (CICA-HIDROCONSULT, 1980)

| Profundidad (cm) | | 0 - 11 | 11 - 23 | 23-42 | 42-60 |
|---|------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | | A _p | B ₁ | B _{k2} | 2C _k |
| Distribución | 2-1 | 1,6 | 1,3 | 2,2 | - |
| de partículas | 1-0,5 | 4,3 | 5,0 | 5,4 | - |
| por tamaño | 0,5-0,25 | 11,2 | 11,2 | 10,4 | - |
| (%) | 0,25-0,10 | 20,2 | 18,4 | 17,7 | - |
| | 0,10-0,05 | 20,2 | 20,3 | 19,8 | - |
| | 2-0,05 | 57,5 | 56,2 | 55,5 | - |
| | 0,05-0,002 | 25,4 | 25,4 | 29,4 | - |
| | < 0,002 | 17,1 | 18,4 | 15,1 | - |
| Clase textural | | Fa | Fa | Fa | FAL |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 1,44 | 1,49 | 1,54 | - |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 18,7 | 19,9 | 18,1 | - |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | | 13,2 | 14,6 | 12,8 | - |
| Carbono orgánico (%) | | 1,4 | 1,4 | 0,5 | - |
| pH _{agua} | | 8,1 | 8,3 | 8,4 | - |
| CaCO ₃ (%) | | 6,1 | 6,4 | 7,4 | - |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | | 1,4 | 0,9 | 0,7 | - |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | nd | nd | nd | - |
| | Mg | nd | nd | nd | - |
| | K | 1,0 | 1,2 | 1,2 | - |
| | Na | 0,3 | 0,4 | 0,4 | - |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | | 12,5 | 13,4 | 11,1 | - |

Suelos de terrazas intermedias del interior del valle. Son suelos planos, de buen drenaje, de texturas medias y finas, estratificados y de colores pardos y pardos rojizos. Se consideran como los mejores suelos agrícolas del valle.

Suelos de Piedmont. La mayor parte de las formaciones de piedmont se encuentran en los sectores medios y altos del valle. En ellos se desarrollan suelos pedregosos, de texturas gruesas que descansan sobre un sustrato aluvio-coluvial. Las pendientes son variables, pero no excesivas.

Los suelos del valle del Huasco presentan pocos problemas de salinidad. Solamente en algunos se han descrito conductividades eléctricas elevadas, como ocurre en las cercanías de la desembocadura del río Huasco, en las Series Bellavista y Paona y en el área de Huantemé, en la Serie Huantemé. La condición salina en estos sectores del valle se debe principalmente al aporte de aguas de riego con un elevado tenor salino. Influye también el alto nivel freático que se presenta en esos sectores, encontrándose el agua, en algunos casos, sólo a 60 cm de profundidad (CNR-INIA, 1995). En el Cuadro 2-14 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de la Serie Huantemé (CIREN, 2007).

Cuadro 2-14. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de la Serie Huantemé (CIREN, 2007)

| Profundidad (cm) | | 0 - 13 | 13 - 29 | 29-45 |
|---|---------------|----------------|----------------|----------------|
| | | A _p | B ₁ | B ₂ |
| Distribución | 2-1 | 3,9 | 3,2 | 2,3 |
| de partículas | 1-0,5 | 12,5 | 10,0 | 7,0 |
| por tamaño | 0,5-0,25 | 16,3 | 13,6 | 12,8 |
| (%) | 0,25-0,10 | 20,6 | 12,6 | 12,8 |
| | 0,10-0,05 | 16,3 | 7,7 | 7,3 |
| | 2-0,05 | 69,6 | 47,1 | 42,2 |
| | 0,05-0,002 | 24,2 | 39,5 | 22,6 |
| | < 0,002 | 6,2 | 13,4 | 35,2 |
| Clase textural | | Fa | F | FA |
| Agua retenida | 33 kPa (%) | 12,3 | 19,0 | 23,8 |
| Agua retenida | 1.500 kPa (%) | 5,5 | 13,4 | 17,7 |
| Carbono orgánico | (%) | 0,3 | 0,2 | 0,2 |
| pH _{agua} | | 7,7 | 7,6 | 8,0 |
| CaCO ₃ | (%) | 0,0 | 0,1 | 0,8 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | | 96,2 | 69,6 | 33,6 |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 3,4 | -- | -- |
| | Mg | 1,2 | -- | -- |
| | K | 1,2 | 2,3 | 1,7 |
| | Na | 2,6 | 4,0 | 3,8 |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | | 8,5 | 13,2 | 11,7 |

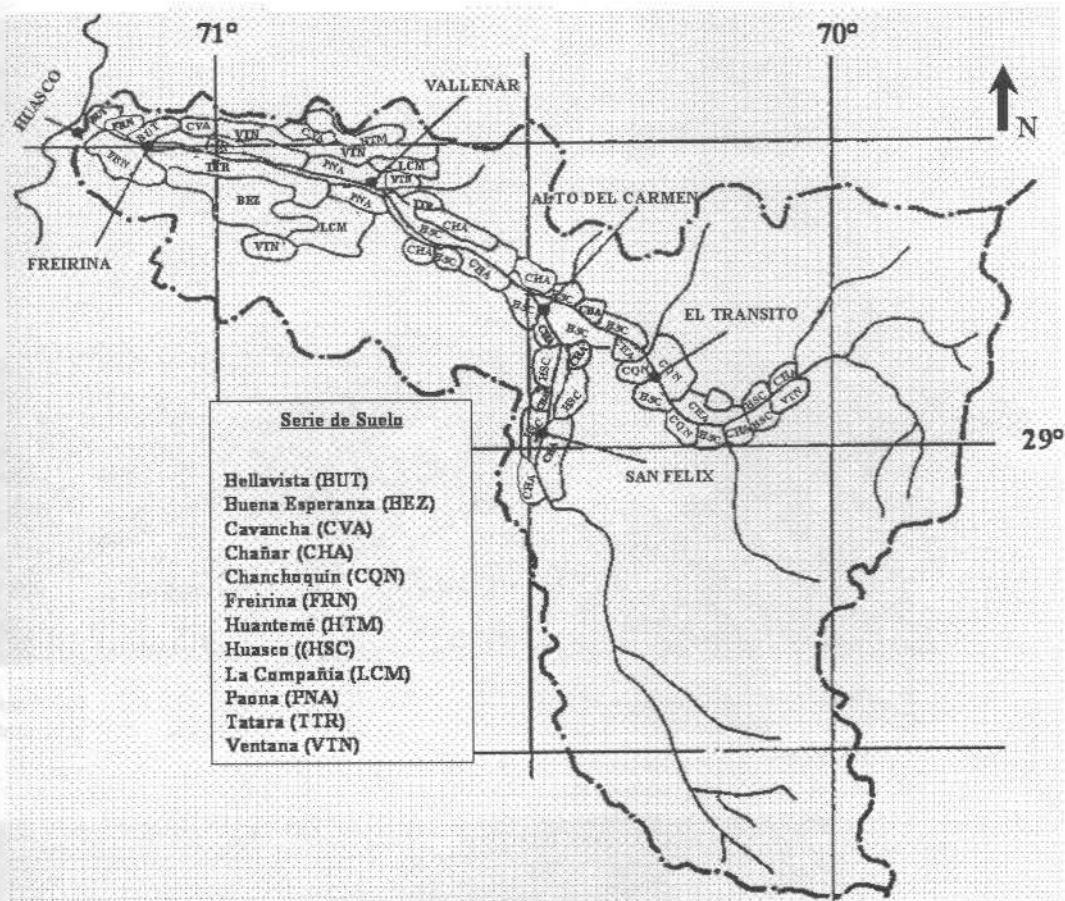


Figura 2-39. Series de Suelos del valle del río Huasco (CNR-INIA, 1995).



Figura 2-1. Pallachatas. Sector del Altiplano en las proximidades del Lago Chungará y el Portezuelo Tambo Quemado. Ambos Estratovolcanes constituyen algunas de las estructuras que evidencian el origen de los abundantes sedimentos volcánicos del sector.

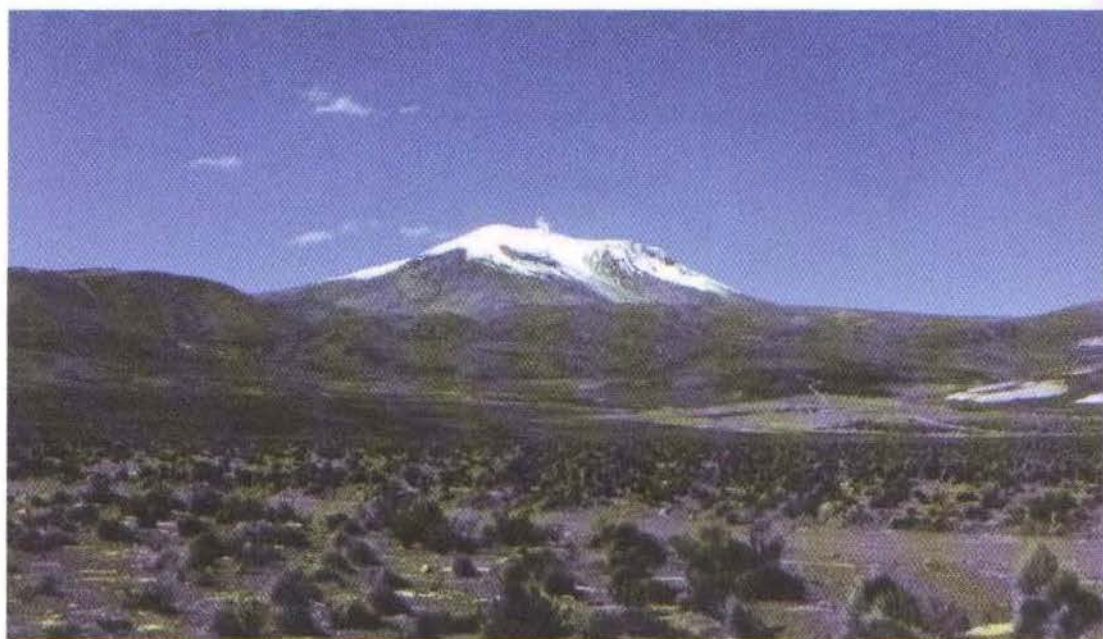


Figura 2-3. Volcán Gñallatire, próximo a la frontera con Bolivia. Sector Altiplánico, al sur-este de Chapiquiña.

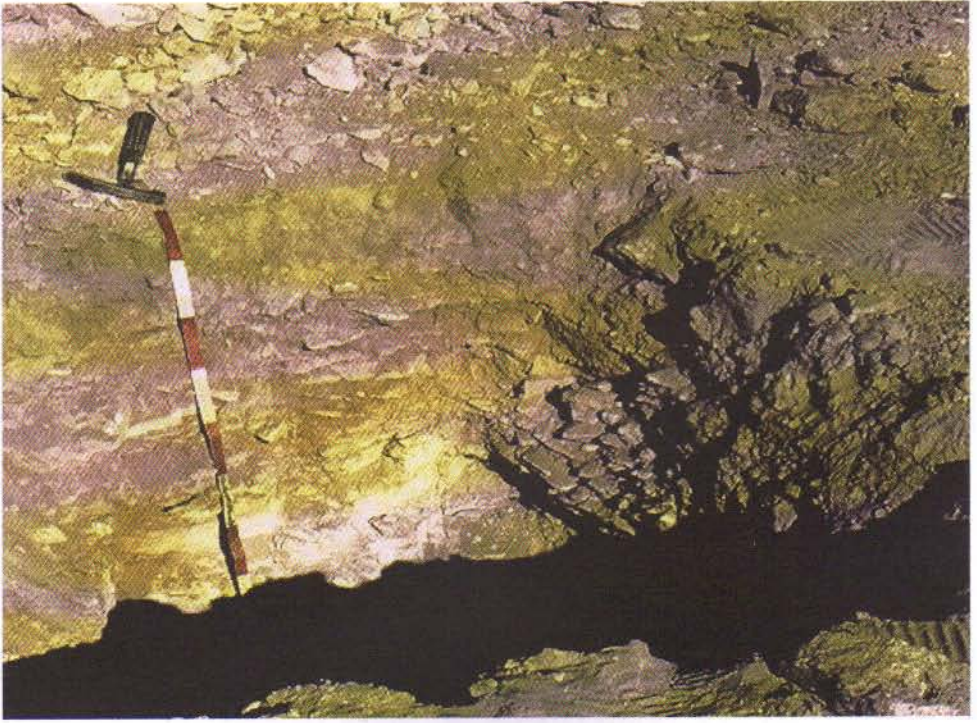


Figura 2-5. Suelo esquelético de alrededor de 20 cm de profundidad sobre roca ácida, del tipo liparita. La ausencia de vegetación en estos suelos de regiones desérticas se puede apreciar por la falta de raíces en el perfil. (Lithic Ustorthent). Región de Antofagasta.



Figura 2-6. Paisaje del desierto pedregoso, con los suelos esqueléticos, sobre roca, con ausencia casi total de vegetación.



Figura 2-7. Cráter adventicio en las proximidades de la Pampa del Avestruz. Camino de Calama a Ollagüe. La superficie está constituida por bloques y bombas volcánicas, esencialmente de composición liparítica.



Figura 2-8. Suelo de origen volcánico, constituido por una sucesión de estratos provenientes de diferentes tefras (tanto de cenizas como de lapillis). Los estratos están constituidos por materiales de diferente composición y diferente granulometría, con límites abruptos entre ellos. Pampa del Avestruz, camino de Calama a Ollagüe.



Figura 2-9. Suelo ubicado entre Putre y Parinacota, en una Pampa de sedimentación de origen volcánico. La vegetación del área es del tipo coironal, moderadamente densa, por lo cual ha sido posible la acumulación de materia orgánica en el horizonte superficial. Aun cuando este contenido es escaso, ha sido suficiente para bajar el cromógeno de este horizonte. El subsuelo está constituido por una capa de ceniza ácida del tipo pómez, algunos fragmentos de los cuales se pueden apreciar en el horizonte A.



Figura 2-10. Paisaje del suelo ubicado en una planicie de sedimentación de origen volcánico, entre Putre y Parinacota.



Figura 2-12. Bofedal de Huasco, al interior de Pozo Almonte. Corresponde a una cuenca con drenaje restringido, en la cual se han acumulado sales y algo de carbonatos. Sostiene una vegetación que se mantiene a través del año y que permite su uso con fines ganaderos (camélidos).



Figura 2-13. Perfil del suelo del Salar de Huasco, marcadamente estratificado, con abundante materia orgánica en los horizontes superficiales y rasgos de acumulación de sales. En los horizontes inferiores se observa el color gris producto de los empobrecimientos redox, característicos de los suelos de drenaje pobre.

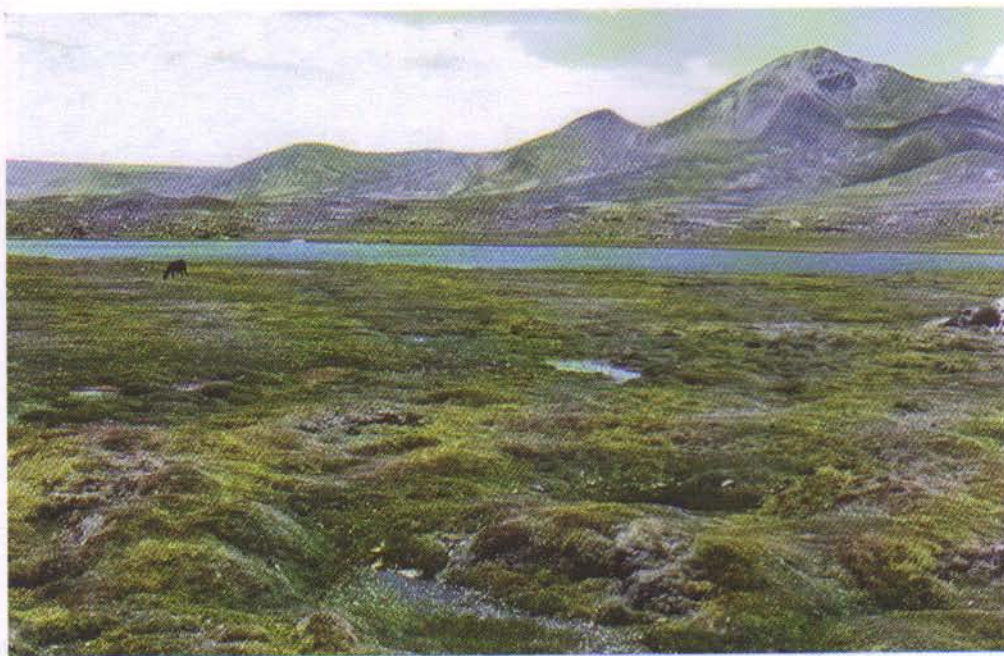


Figura 2-14. Bofedal de Parinacota. Se observa una rica cubierta vegetal y el nivel freático en la superficie o muy próximo a ella.

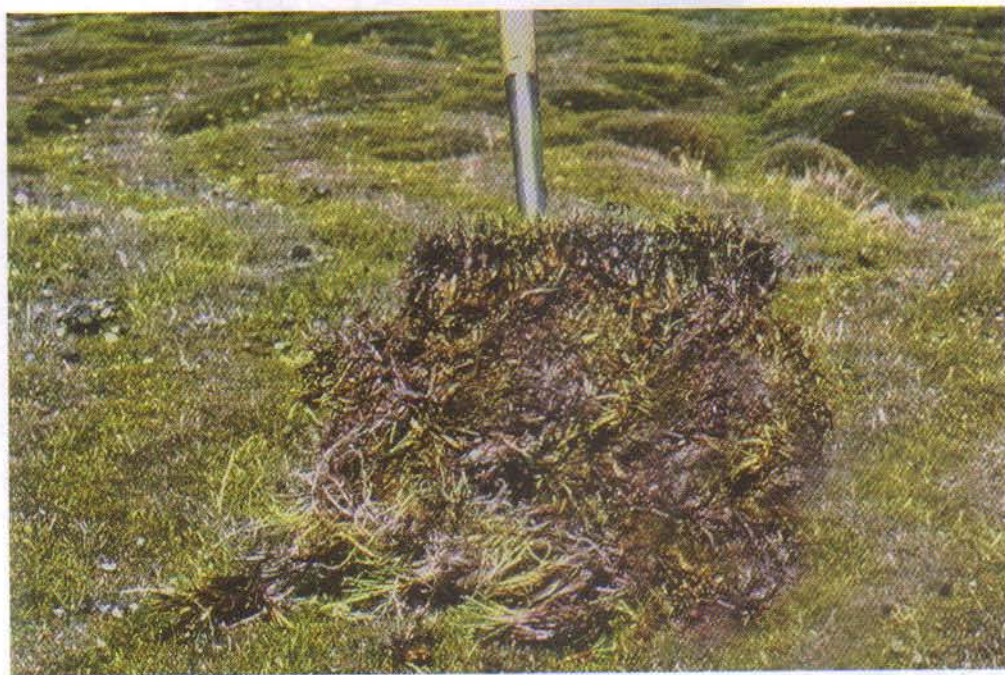


Figura 2-15. Horizonte superficial y parte del horizonte subsuperficial del suelo orgánico en el bofedal de Parinacota. La mayor parte de las raíces están vivas. Solamente en los horizontes más profundos (1 m aproximadamente) la descomposición de los sedimentos orgánicos es completa.



Figura 2-16. Paisaje de un sector del bofedal de Isluga. Se observan algunas manchas superficiales de concentraciones salinas.



Figura 2-17. Perfil del suelo en el bofedal de Isluga. Los colores grises indican la presencia de procesos de reducción por períodos prolongados. A diferencia de otros bofedales, en este caso no existe una gran acumulación de materia orgánica. Se trata de un suelo mineral, con mayor contenido de materia orgánica que los suelos de desierto. Correspondería a un Halaquepts/Endoaquepts.

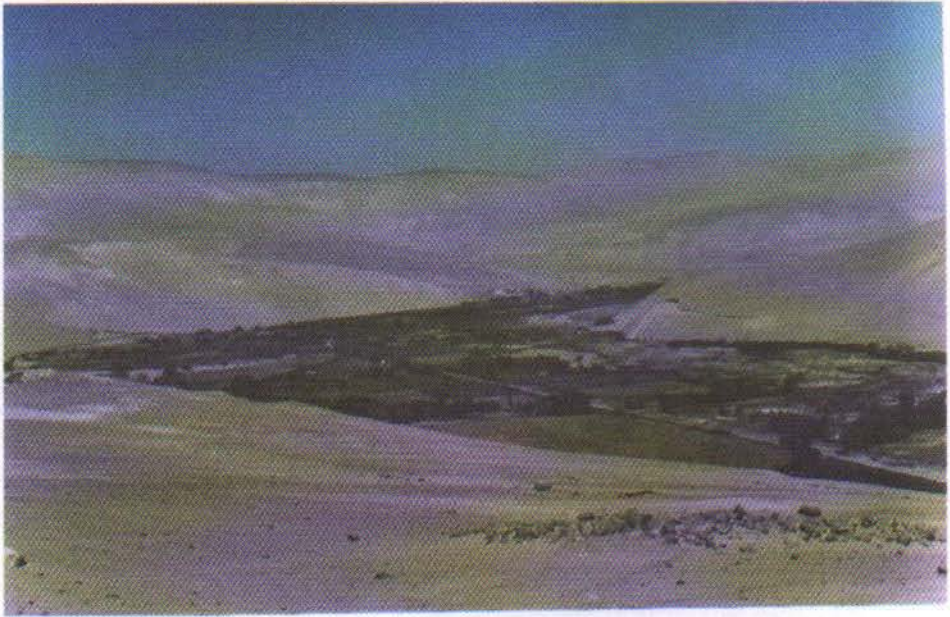


Figura 2-18. Valle del Río Lluta. Los suelos de origen aluvial y de escasa evolución, en el fondo del valle, son de granulometría variable aunque dominan las texturas gruesas. El límite entre el fondo del valle que es la zona de cultivo y la zona de desierto propiamente tal, es prácticamente abrupto.



Figura 2-19. Río Caquena. En los sectores bajos del relieve y próximos al cauce del río se han producido procesos de paludización generando suelos orgánicos o minerales con alto contenido de materia orgánica. La vegetación verde que se mantiene gran parte del año sustenta el ganado de pequeños agricultores.

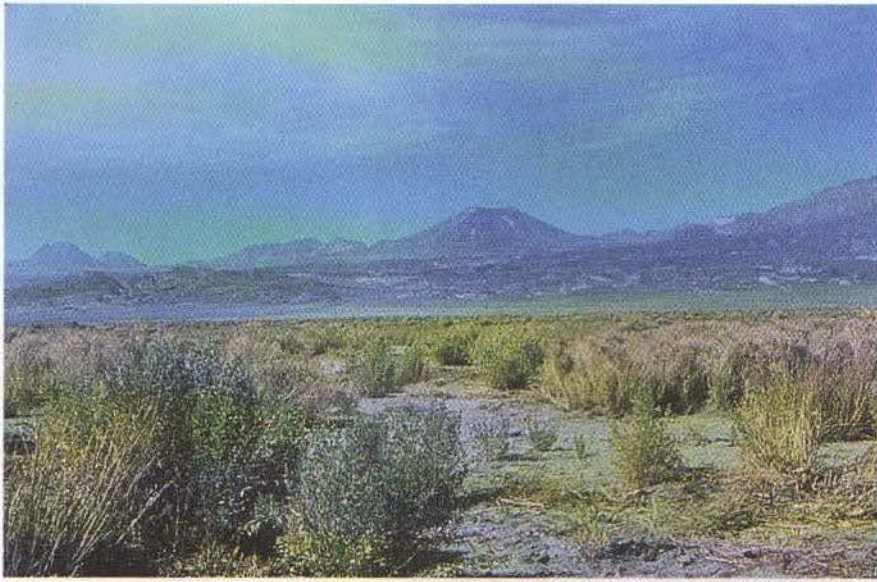


Figura 2-20. Paisaje característico de las denominadas *Ilanuras depositacionales*. La superficie de los suelos se encuentra cubierta con abundantes gravas de composición variada, tanto angulares, como subangulares. Los suelos, en su mayoría corresponden al concepto de esqueletales y en escasas situaciones se puede diferenciar con claridad un horizonte B débilmente estructurado. También es posible encontrar suelos estratificados, producto de los sucesivos depósitos de materiales eólicos, aluviales o lacustrinos.



Figura 2-21. Suelo característico de las *Ilanuras depositacionales*, en el cual se evidencia la estratificación de los materiales. El suelo presenta un perfil A – C.



Figura 2-23. Paisaje del Salar de Pintados. La superficie constituida por una costra salina compactada y cementada ha sido descrita como *la superficie de un mar agitado*. Los tamarugos del segundo plano han sido plantados haciendo unos hoyos profundos, en los cuales las plantas jóvenes se han asentado sobre las capas inferiores por debajo de la costra salina.



Figura 2-24. Paisaje de un sector del Salar de Zapiga. Cabe hacer notar el excelente estado de la vegetación.



Figura 2-25. Perfil del suelo en el Salar de Pintados. La costra superficial tiene aproximadamente 30 cm de espesor. Debajo de ella hay una sucesión de estratos de diferente naturaleza granulométrica y diferente composición. Se puede observar el buen desarrollo del sistema radical por debajo de la costra salina.



Figura 2-27. La Cordillera de la Costa cae abruptamente al mar en forma de acantilados de varios cientos de metros de altura, en la base de los cuales se forma una sucesión continua de coluvios. Constituye una estrecha franja litoral, formada por depósitos sedimentarios que dan origen a escasas y angostas playas de rodados y arenas. Esta franja litoral es discontinua, de modo que hay sectores en los cuales la Cordillera cae directamente al mar.



Figura 2-28. Cordillera de la Costa en las cercanías de Taltal. El relieve es muy escarpado, las pendientes son superiores a 20%, con pedregosidad superficial abundante y con afloramientos rocosos comunes. La litología dominante corresponde a granito rosado, andesita y gneiss granítico.



Figura 2-29. En los sectores donde la Cordillera llega directamente al mar, sin una transición de terrazas, y en ecosistemas de Matorral Mediterráneo, los suelos, generalmente, presentan un horizonte A delgado, producto de la acumulación de restos vegetales. Los suelos son delgados sobre un sustrato formado por gravas angulares que pueden ocupar el 80% en volumen.

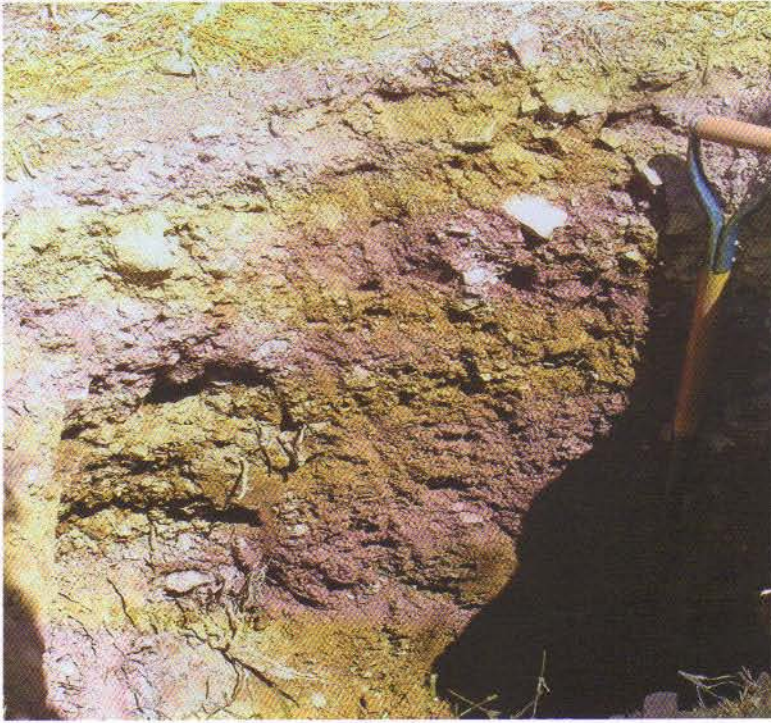


Figura 2-30. Perfil de la Serie Amolanas, con abundante pedregosidad en el perfil que, en algunos casos, puede llegar al 70%.



Figura 2-31. Paisaje de la Serie Amolanas en posición de coluvio, que muestra pendientes aproximadas de 2 a 5%.



Figura 2-32. Perfil de la Serie Apacheta. Suelo estratificado, en el cual se intercalan horizontes de clases texturales franco arcillo arenosas, con estratas arenosas e incluso estratas de gravas redondeadas y facetadas. Los horizontes de clases texturales más finas presentan buena estructuración, por lo que se pueden considerar como horizontes B.



Figura 2-33. Paisaje característico que domina en todos los sectores donde se encuentra la Serie Apacheta en el valle de Copiapó.



Figura 2-34. Perfil de la Serie Ramadilla. Corresponde a un suelo profundo, estratificado, cuyos colores varían entre los matices 10YR, 7.5YR y 5YR y cuyas clases texturales son predominantemente finas, esto es franco arcillo limosa, franco arcillosa y arcillosa. Presenta una estrata de materia orgánica de color negro (10YR2/1), la que se presenta en numerosos otros suelos de este sector.



Figura 2-35. Paisaje de la Serie Ramadilla en un sector con olivos, entre la ciudad de Copiapó y Caldera.



Figura 2-36. Unidad No Diferenciada Bramador. El color dominante del suelo es pardo rojizo (SYR 4/3), de clase textural franco arcillo arenosa. Las gravas angulares de 2 a 10 cm de diámetro ocupan un 70 a 80% del volumen. Fuerte reacción al ácido clorhídrico.

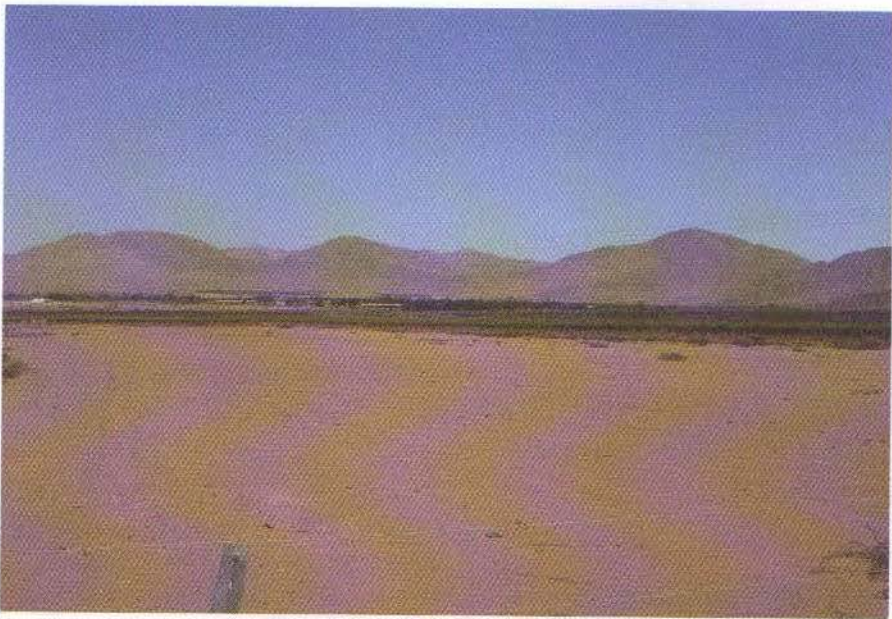
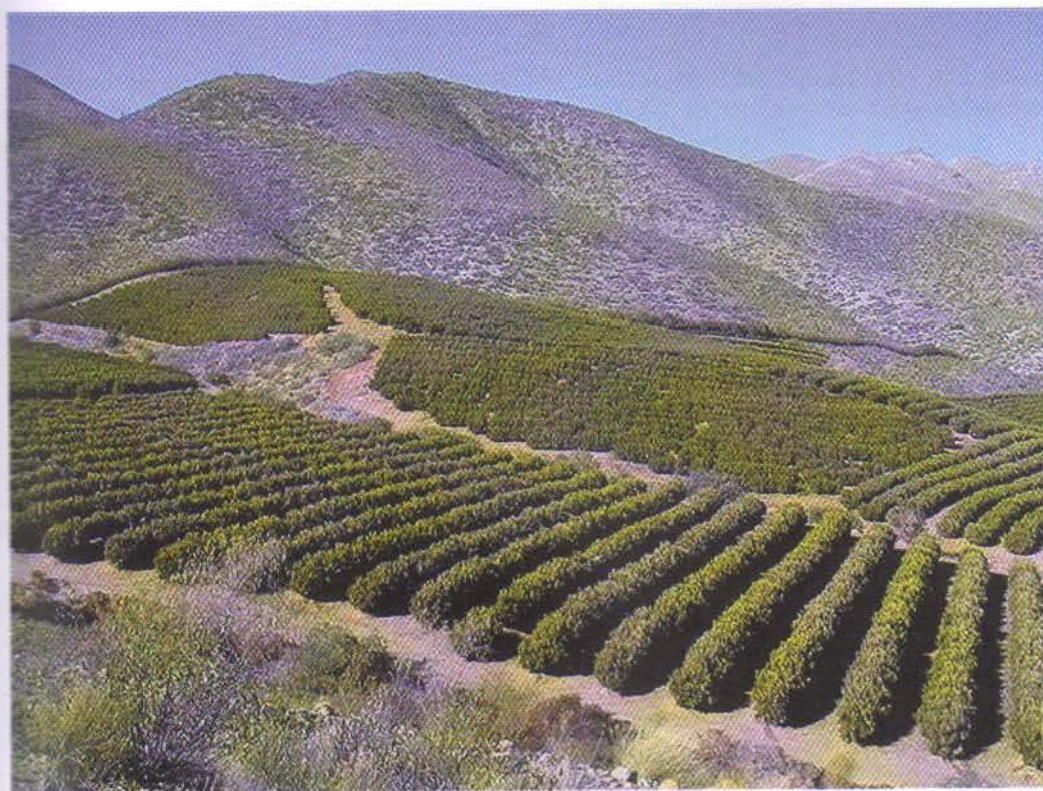


Figura 2-37. Sector de coluvios asociado a la Unidad No Diferenciada Bramador, en las proximidades de Chamonate en el valle de Copiapó.

CAPÍTULO 3

Suelos de la Zona Árida y Semiárida (Desde 29° LS hasta 32° LS)



Casanova, M., Seguel, O. Luzio, W. 2009. Suelos de la Zona Árida y Semiárida (Desde 29° LS hasta 32° LS). pp: 81- 123. *In*: Suelos de Chile. (Luzio, W., Editor). Universidad de Chile.

3.1 Características generales de la Zona

En esta Zona las precipitaciones son de mayor magnitud que en la Zona Desértica. En el valle del río Elqui (extremo norte de la Zona) las precipitaciones anuales son de 100 mm, con una variabilidad de ± 60 mm; mientras que en su extremo sur (32° LS) son de 250 mm, caracterizada también por una gran irregularidad en su distribución (Bischoff-Gauß *et al.*, 2006).

En este sector de la Cordillera de Los Andes se ha documentado una fase húmeda hace 30.000 años, seguida por condiciones áridas en todo el Norte Chico durante el *Last Glacial Temperature Minimum* (LGTM) hace 19.000 años. Después del último Período Glaciar, el clima se volvió más árido y cálido, manifestándose en una cubierta vegetacional menos densa y un incremento de lluvias intensas, lo que condujo a una severa erosión del suelo y a la activación de abanicos aluviales. Estas condiciones de aridez prevalecieron hasta mediados del Holoceno. Existen datos que señalan que la semiaridez actual prevalece desde hace aproximadamente 3.000 años, aunque con condiciones geocológicas semiestables, influenciadas crecientemente por la actividad del hombre (Veit, 1993).

Tal como en la Zona Árida, a nivel transversal ocurren cambios fisiográficos que inducen condiciones diferentes según la altitud. En el Cuadro 3-1 se incluyen las fajas altitudinales principales.

No obstante estas condiciones de semiaridez, el Parque Nacional Bosque Fray Jorge, inserto en la Cordillera de la Costa de esta Zona (Figura 3-1), posee la singularidad topoclimática de concentrar condiciones atípicas de humedad para esta latitud, producto de una aceleración de los procesos de condensación, al enfrentarse las masas de aire oceánicas con dicho cordón, que las obliga a elevarse y concentrar su contenido de agua; ello permite la mantención de un ecosistema vegetacionalmente azonal (Novoa-Jerez *et al.*, 2004). Se observa en consecuencia, la persistencia de sectores de bosque lluvioso, rodeados de una matriz de vegetación xerofítica (del Val *et al.*, 2006).

Cuadro 3-1. Fajas geocológicas altitudinales a 30° LS (Viet, 1993)

| Altitud (msnm) | Características |
|----------------|---|
| 5.300 | Límite de las nieves perpetuas, muy ligera glaciación en exposiciones sur-este |
| 5.100 | Límite inferior de permafrost continuo |
| 4.450 | Límite de vegetación |
| 4.200 | Límite inferior de permafrost discontinuo |
| 3.500-4.200 | Faja andina con movimiento de suelo superficial, reptación seca, erosión de suelo, suelo superficial congelado y suelos relictos bajo 4.000 msnm |
| 1.900-3.500 | Faja subandina, con movimiento de suelo superficial pero sin congelamiento, frecuentes suelos relictos |
| 800-1.900 | Faja superior desértica, fuerte erosión de suelos, suelos relictos casi completamente erosionados (800-1.400 msnm) y ocurrencia aislada de costras calcáreas |
| < 800 | Faja inferior desértica, influenciada por neblinas costeras, de relativa estabilidad morfológica bajo condiciones naturales, suelos relictos frecuentes y dunas |

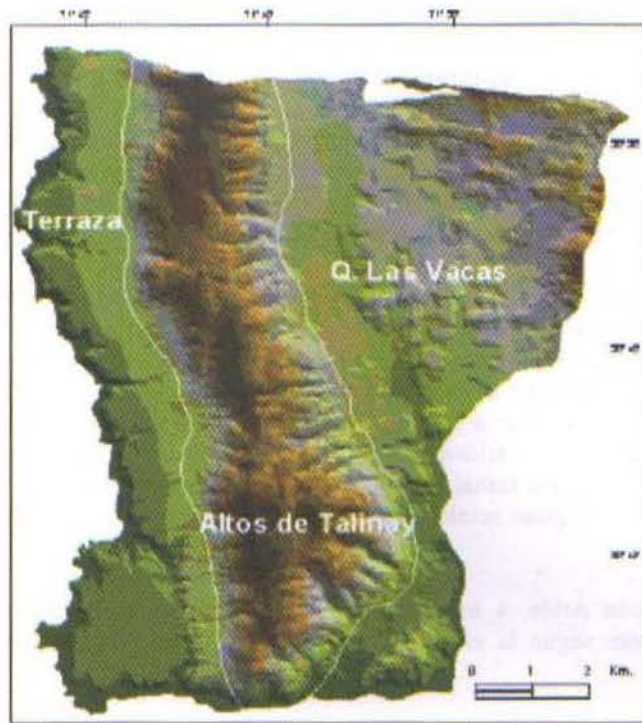


Figura 3-1. Ubicación del bosque relicto del Parque Nacional Fray Jorge en el sector costero de la Zona.

En esta Zona no se presentan los rasgos fisiográficos que caracterizan longitudinalmente a todo el país, es decir, se rompe la continuidad de Cordillera de la Costa - Graben Central - Cordillera de Los Andes. Tampoco se han descrito evidencias de volcanismo activo, en contraste con lo que ocurre tanto al norte como al sur de ella.

Varios autores, citados por Pouget *et al.* (1996), distinguen cuatro rasgos fisiográficos principales en esta Zona. **Las planicies litorales**, representadas por una angosta faja cuya extensión fluctúa entre algunas centenas de metros hasta un máximo de 5 km, constituida por antiguas terrazas de abrasión marina. **La Cordillera de la Costa**, integrada por materiales paleozoicos y mesozoicos y por un complejo granítico de edad jurásica, que se extiende a todo lo largo del litoral, alcanzando una altura de 900 a 1.000 msnm. **Las serranías interiores**, de altura variable entre 800 y 1.000 msnm, las cuales se ven interrumpidas por planicies de topografía más o menos ondulada y la **Cordillera de Los Andes** que constituye el principal elemento morfológico, con un ancho promedio de 35 km y alturas de 2.200 a 5.000 msnm, constituida principalmente por afloramientos mesozoicos y cenozoicos (Figura 3-2).

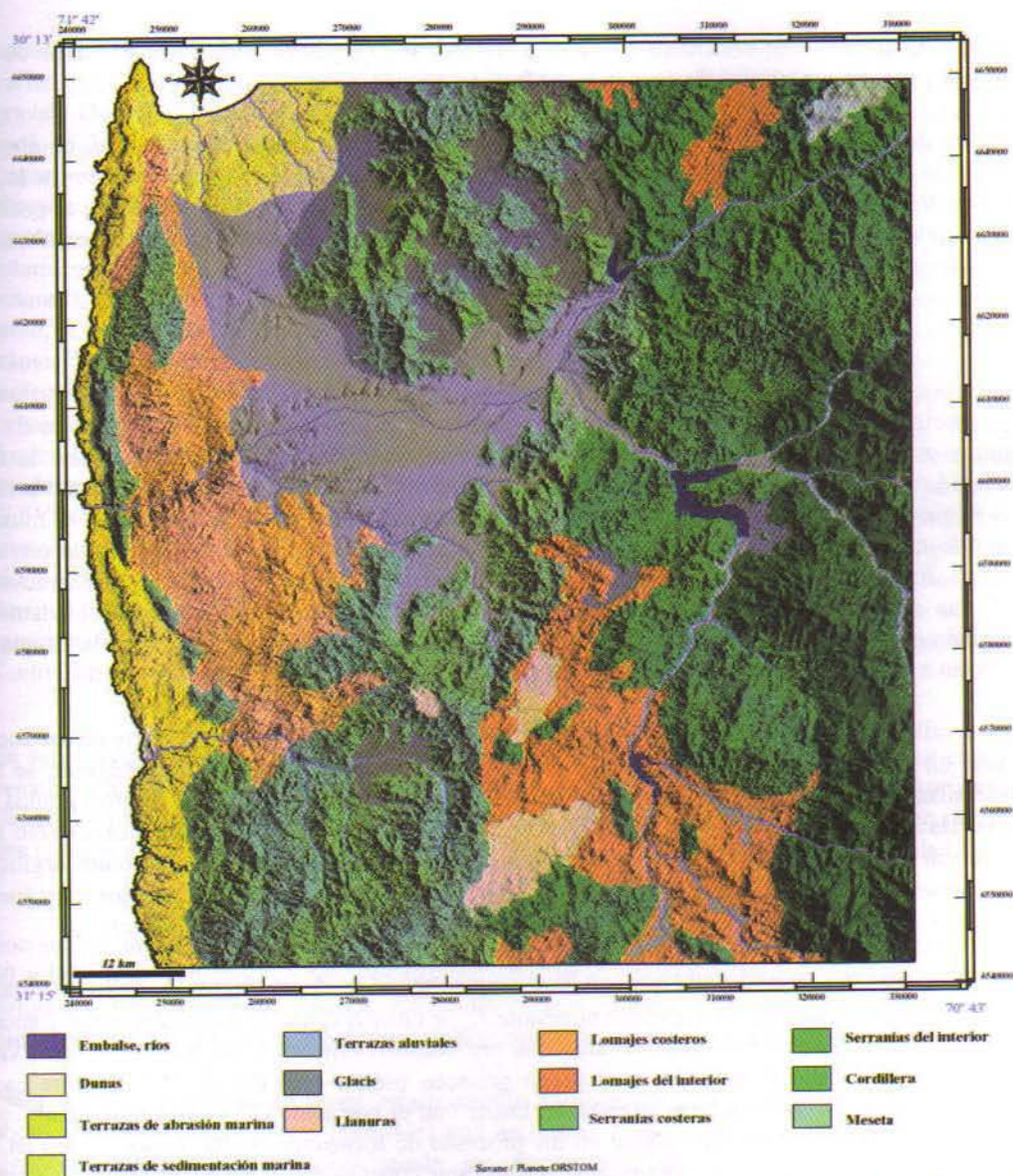


Figura 3-2. Fisiografía general de la Zona Árida y Semiárida de Chile en el valle del río Limarí (Pouget *et al.*, 1996).

Desde el punto de vista geomorfológico, las *serranías interiores* se ven interrumpidas por los valles de orientación este - oeste, en los cuales se encuentran dos clases de suelos dominantes: los suelos de origen aluvial y los de origen coluvial. En los lomajes y cerros que jalonan estos valles se encuentran suelos residuales desarrollados directamente a partir de la meteorización de las rocas graníticas u otras relacionadas, que constituyen el sustrato geológico dominante del sector. En general, los suelos presentan mayor desarrollo que en la Zona Desértica, lo cual se evidencia por la presencia frecuente de horizontes de diagnóstico, tales como cámbicos y argílicos, cuyo origen no se encontraría en procesos pedogénicos actuales. La mayor parte de la agricultura se desarrolla en los sectores más planos de terrazas aluviales y, cada vez más, en los sectores de coluvios y laderas de cerros de estos valles estrechos, tales como Elqui, Limarí, Hurtado, Choapa,

Illapel y Quilimarí. Se considera que esta actividad antropogénica sería la responsable de los intensos y extensos procesos de erosión que afectan a toda la Zona.

A través de la segmentación del paisaje, se pueden considerar elementos identificables de él que, de alguna manera u otra, se asocian a características pedogénicas diferentes. De este modo, la distribución de los suelos se puede asociar en forma más lógica a su paisaje y además, es posible explicar algunos de sus rasgos morfológicos. Consecuentemente, en este Capítulo se considerarán las zonas interiores, los valles y las zonas costeras.

3.2 Suelos de las zonas interiores

El conocimiento de los suelos de estas áreas es muy limitado, dado que la mayor parte de los estudios edáficos se han realizado en los valles transversales, donde se lleva a cabo la casi totalidad de la actividad agrícola. El Régimen de Humedad de los Suelos continúa siendo arídico y el Régimen de Temperatura térmico, debido a que en estas áreas la influencia marina es mínima y, por lo tanto, la diferencia entre la TMV y la TMI es superior a 6°C. El relieve es de cerros y lomajes, interrumpido solamente por los valles que atraviesan con una orientación preferencial E-O y que se describirán más adelante. Este relieve se ha caracterizado como moderadamente ondulado (8 a 15%) y de lomajes (20 a 30%), entre los cuales se encuentran depresiones que no alcanzan a constituir valles en sentido geográfico-geomorfológico.

En los valles y en posición de piedmonts, conos aluviales y terrazas, la mayor parte de los suelos exhibe un perfil de tipo A-C. En otras posiciones onduladas de lomajes y de piedmont, se han desarrollado suelos cuyo material de origen es una roca granítica con diferentes grados de meteorización. La mayor parte de éstos evidencia un desarrollo pedogénico que alcanza sólo a la formación de un horizonte cámbico. En muy pocos suelos se han descrito horizontes argílicos, cuya presencia señala una mayor evolución pedogénica. En sectores más localizados, hay suelos de escaso desarrollo (perfil A-C_k), formados a partir de (o sobre) materiales calcáreos.

Los suelos de menor desarrollo pedogénico ocupan posición de abanicos aluviales o terrazas recientes en las laderas de los valles. El horizonte A, de clase textural comúnmente areno francosa y más excepcionalmente franca, no alcanza una profundidad superior a los 50 cm. Su color varía entre el pardo oscuro (7.5YR4/3) y el pardo grisáceo oscuro (10YR3/1). Su estructura es de bloques angulares y subangulares débiles. El límite con el horizonte C es generalmente abrupto, señalando con esto una discontinuidad en los procesos de formación de los suelos o bien en los procesos de sedimentación. El horizonte C puede estar constituido por una secuencia de estratas de granulometría gruesa (arenas y gravas) o bien solamente por gravas redondeadas o subredondeadas con arenas intersticiales. Estos suelos, de limitado desarrollo, se encuentran en diferentes clases de pendiente, desde posiciones planas hasta lomajes, donde ocurren procesos de erosión moderada y, en algunos casos, severa. Aun cuando se trata de suelos que tienen en común el escaso desarrollo del perfil sobre un sustrato de gravas y arena, las fuertes variaciones en su topografía hacen que posean aptitudes muy diferentes. De esta manera, las Fases de menor pendiente pueden presentar Clase III de Capacidad de Uso, en cambio las Fases que se encuentran en pendientes mayores y con procesos de erosión activos, se han identificado en Clase VII.

Los suelos desarrollados a partir de granito tienen una profundidad que varía entre 60 y 130 cm hasta la roca, característica que está asociada principalmente a la intensidad de los procesos de erosión que, en este sector, son moderados a severos. El relieve es moderado a ligeramente

ondulado (Figura 3-3, al final del Capítulo). La clase textural del horizonte superficial puede variar entre franca, franco arenosa y franco arcillo arenosa, asociada con variable cantidad de gravas. Dominan los matices 5YR y 7.5YR con croma/valor variables entre 3/2 hasta 4/4. En profundidad, se incrementa el contenido de arcilla, de tal forma que los horizontes B pueden llegar a tener clase textural franco arcillosa e incluso arcillosa. La estructura es generalmente de bloques subangulares medios y fuertes, con una buena penetración radical. Aun cuando existe un incremento en el contenido de arcilla hacia los horizontes subsuperficiales, esta característica no estaría asociada a procesos pedogénicos que implican la translocación de arcillas (ausencia de cutanes), sino más bien correspondería a procesos pedogénicos de alteración sin iluviación; por lo tanto, todos los suelos descritos en estas situaciones presentan un horizonte cámbico, Bw. La transición entre el horizonte B y el C, generalmente es gradual, dependiendo del grado de meteorización que haya alcanzado la roca subyacente; en muchos casos este horizonte de transición es rico en *maicillo*, es decir fragmentos de cuarzo, feldespatos y minerales ferromagnésicos provenientes de la meteorización de la roca granítica. El color de este horizonte puede ser de un amarillo parduzco (10YR6/6), pardo amarillento (10YR5/3.5) o bien pardo fuerte (7.5YR5/6) y su clase textural es generalmente gruesa: franco arenosa gruesa o franco arcillo arenosa gruesa. Se les ha clasificado como Haplocambids (Figura 3-4, al final del Capítulo). En el Cuadro 3-1 se presentan las principales propiedades físicas y químicas que caracterizan a la Serie El Tambo, considerado un suelo representativo de este grupo. Otros suelos de características similares y con un desarrollo pedogénico semejante lo constituyen las Series de Suelo Cerrillos de Rapel y Chillepín.

En estas zonas interiores también se pueden encontrar suelos que presentan una mayor evolución, evidenciada por la presencia de rasgos de iluviación y el claro desarrollo de un horizonte Bt. Generalmente están ubicados en posiciones de piedmont o de tipo aluvio-columial, con pendientes que pueden variar desde ligeramente ondulada (2 - 5%) hasta moderadamente ondulada (8 - 15%).

Son suelos desde ligera a moderadamente profundos, es decir, se pueden encontrar perfiles entre 50 y 90 cm de profundidad hasta el sustrato, el cual es, generalmente, un conjunto de gravas y bolones o bien roca granítica con diferentes grados de meteorización. El sustrato de algunos suelos constituido de gravas y bolones también puede presentar diferentes grados de alteración.

Estos suelos constituyen un grupo relativamente homogéneo pues, morfológicamente, presentan pocas variaciones. Las clases texturales son arcillosas a través de todos los perfiles y sólo en algunos horizontes superficiales puede ser franco arcillosa. La estructura es de bloques subangulares medios y gruesos fuertes y, en algunas ocasiones, puede ser prismática. Llama la atención el matiz de todos los horizontes de todos los suelos, que varía desde 5YR hasta 10R, es decir, entre el pardo rojizo oscuro hasta el rojo muy oscuro. Este rasgo morfológico constituye una característica relevante, que señala al menos una importante segregación de óxidos de Fe, por lo tanto, la existencia de procesos pedogénicos intensos a partir de la meteorización de los materiales parentales. Las raíces son escasas y finas y decrecen notoriamente hacia los horizontes más profundos. La mayoría de los suelos de este tipo se han descrito con reacción al HCl, de débil a moderada y, como es el caso de la Serie Combarbalá (Cuadro 3-2), el CaCO_3 se incrementa en profundidad. Además de la Serie Combarbalá, se incluyen en este grupo a las Series Pintacura (figuras 3-5 y 3-6 al final del Capítulo) y Tahuinco. De acuerdo a su clasificación taxonómica pertenecen a los Grandes Grupos Haplargids y Paleargids.

Cuadro 3-1. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de la Serie El Tambo (CIREN, 2005a)

| Profundidad (cm) | | 0 – 11 | 11 – 21 | 21 – 32 | 32 – 80 |
|--|----|----------------------|----------------------|----------------------|-----------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | A_p | B₁ | B₂ | BC |
| 2-1 | | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| 1-0,5 | | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 1,0 |
| 0,5-0,25 | | 4,1 | 4,0 | 4,9 | 6,6 |
| 0,25-0,10 | | 19,1 | 21,7 | 27,1 | 20,8 |
| 0,10-0,05 | | 31,5 | 26,5 | 33,3 | 39,1 |
| 2-0,05 | | 55,8 | 52,8 | 66,1 | 67,7 |
| 0,05-0,002 | | 29,4 | 32,2 | 25,33 | 25,5 |
| < 0,002 | | 14,8 | 15,1 | 8,6 | 6,7 |
| Clase textural | | Fa | Fa | Fa | Fa |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 1,26 | 1,30 | 1,15 | 1,20 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 22,7 | 20,6 | 11,8 | 9,1 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | | 12,6 | 11,4 | 6,5 | 5,0 |
| Carbono orgánico (%) | | 1,67 | 1,10 | 0,64 | 0,46 |
| pH _{agua} | | 7,20 | 7,63 | 7,81 | 8,03 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | | 4,9 | 1,0 | 0,6 | 0,5 |
| Iones solubles (extracto de saturación) (mmol ⁺ /L) | Ca | 42,0 | 5,4 | 3,1 | 2,1 |
| | Mg | 14,7 | 1,7 | 1,0 | 0,6 |
| | K | 1,5 | 0,2 | 0,1 | 0,0 |
| | Na | 10,3 | 2,9 | 2,3 | 2,1 |
| Suma (mmol _c L ⁻¹) | | 68,5 | 10,3 | 6,4 | 4,9 |
| CO ₃ (mmol _c L ⁻¹) | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| HCO ₃ (mmol _c L ⁻¹) | | 6,0 | 3,8 | 1,2 | 2,0 |
| Cl (mmol _c L ⁻¹) | | 13,2 | 1,5 | 0,5 | 0,4 |
| SO ₄ (mmol _c L ⁻¹) | | 21,0 | 1,8 | 2,2 | 1,4 |
| Saturación agua (%) | | 43 | 41 | 36 | 36 |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 15,9 | 13,5 | 11,0 | 9,8 |
| | Mg | 3,31 | 2,68 | 2,32 | 2,04 |
| | K | 0,70 | 0,31 | 0,14 | 0,10 |
| | Na | 0,64 | 0,35 | 0,32 | 0,32 |
| Suma (cmol _c kg ⁻¹) | | 20,59 | 16,81 | 13,76 | 12,23 |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | | 19,6 | 18,7 | 16,0 | 14,3 |
| Saturación básica pH 7,0 (%) | | 100,0 | 90,0 | 86,0 | 85,0 |

Cuadro 3-2. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de la Serie Combarbalá (CIREN, 2005a)

| Profundidad (cm) | | 0 – 25 | 25 – 45 | 45 – 90 |
|---|----|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | A_p | B_{tl} | B_{tz} |
| 1-0,5 | | 3,7 | 3,1 | 1,4 |
| 0,5-0,25 | | 4,9 | 4,7 | 3,6 |
| 0,25-0,10 | | 6,2 | 4,0 | 3,0 |
| 0,10-0,05 | | 17,6 | 12,1 | 10,0 |
| 2-0,05 | | 32,6 | 23,9 | 18,0 |
| 0,05-0,002 | | 24,0 | 25,0 | 25,3 |
| < 0,002 | | 43,4 | 51,1 | 56,7 |
| Clase textural | | AL | AL | A |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 1,76 | 1,95 | 1,95 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 33,1 | 37,1 | 40,2 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | | 17,9 | 26,8 | 26,5 |
| Carbono orgánico (%) | | 1,51 | 0,75 | 0,46 |
| pH _{agua} | | 7,51 | 7,93 | 8,09 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | | 1,1 | 0,4 | 0,5 |
| CaCO ₃ equivalente (%) | | 0,9 | 1,8 | 3,3 |
| Iones solubles | Ca | 8,7 | 2,7 | 1,7 |
| Extracto de Saturación (mmol _c L ⁻¹) | Mg | 1,7 | 0,6 | 0,5 |
| | K | 0,5 | 0,1 | 0,1 |
| | Na | 1,4 | 1,5 | 3,3 |
| Suma (mmol _c L ⁻¹) | | 12,3 | 4,9 | 5,5 |
| CO ₃ (mmol _c L ⁻¹) | | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| HCO ₃ (mmol _c L ⁻¹) | | 5,6 | 2,0 | 2,0 |
| Cl (mmol _c L ⁻¹) | | 3,0 | 0,1 | 0,3 |
| SO ₄ (mmol _c L ⁻¹) | | 2,3 | 1,9 | 2,8 |
| Saturación agua (%) | | 68 | 77 | 78 |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 32,9 | 42,4 | 26,0 |
| | Mg | 5,11 | 7,71 | 4,61 |
| | K | 1,32 | 0,85 | 0,31 |
| | Na | 0,30 | 0,53 | 0,74 |
| Suma (cmol _c kg ⁻¹) | | 39,7 | 51,4 | 31,6 |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | | 38,7 | 43,0 | 47,0 |
| Saturación básica pH 7,0 (%) | | 100,0 | 100,0 | 67,0 |

El último grupo de suelos que se podría identificar en estas zonas interiores corresponde a suelos desarrollados a partir de (o sobre) materiales calcáreos. No existen estudios pedogénicos, por lo tanto no es posible definir con certeza los procesos que han ocurrido en estos suelos para determinar si los materiales calcáreos subsuperficiales han actuado como materiales parentales o no. Estos suelos ocupan sectores del paisaje desde suave a moderadamente ondulados hasta de lomajes (20 a 30% de pendiente) e incluso de cerros (30 a 50% de pendiente). Su distribución aparece como bastante localizada, en sectores próximos a Punitaquí y también en las cercanías de Viña (Figura 3-7, al final del Capítulo). En los sitios descritos son frecuentes los afloramientos

rocosos y la abundante pedregosidad superficial, además de una erosión de flujo precanalizado fuerte. Se trata de suelos que, generalmente, presentan un desarrollo pedogénico muy incipiente, con perfiles del tipo A – C (C_k); esto significa que no existe transición entre el *solum* y el horizonte cálcico; en otros casos puede desarrollarse un horizonte B_w . Las clases texturales son finas, franca o franco limosa en superficie y franco arcillosa o franco arcillo limosa en los horizontes más profundos. Los colores de los horizontes superficiales y subsuperficiales son pardo oscuro o pardo amarillento oscuro, en los matices 7.5YR y 10YR, hasta gris claro (10YR7/2) en el horizonte calcáreo. Las raíces son comunes y disminuyen con la profundidad. Estos suelos son de escasa importancia agrícola, debido a su limitada distribución y fuertes pendientes; en su mayor parte se encuentran con praderas naturales. Dependiendo de las pendientes, las Clases de Capacidad de Uso pueden variar entre III y VII. En el Cuadro 3-3 se presentan las principales propiedades de la Serie Marquesa, que se ha tomado como ejemplo de este grupo de suelos y que se ha clasificado como Typic Haplocalcid.

Cuadro 3-3. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de la Serie Marquesa (CIREN, 2005a)

| Profundidad (cm) | 0 – 32 | 32 – 100 |
|--|----------------------|----------------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A₁ | C_k |
| 2-1 | 1,5 | 2,1 |
| 1-0,5 | 3,4 | 4,6 |
| 0,5-0,25 | 3,7 | 3,8 |
| 0,25-0,10 | 4,5 | 4,6 |
| 0,10-0,05 | 18,5 | 9,2 |
| 2-0,05 | 31,6 | 24,3 |
| 0,05-0,002 | 54,1 | 46,4 |
| < 0,002 | 14,3 | 29,3 |
| Clase textural | F | FA |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 26,7 | 19,7 |
| Agua retenida 1500 kPa (%) | 15,5 | 11,5 |
| Carbono orgánico (%) | 0,8 | 0,2 |
| pH _{agua} | 8,0 | 8,3 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 1,1 | 2,4 |
| CaCO ₃ equivalente (%) | 0,9 | 33,5 |
| | Ca | - |
| | Mg | - |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | K | 0,1 |
| | Na | 1,7 |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | 15,2 | 14,8 |

3.3 Suelos de los Valles

Si bien es cierto que estos valles pueden presentar diferencias en sus características geomorfológicas y edáficas, existen algunos patrones que les son comunes y que se repiten a lo largo y ancho de ellos. En esencia, hay dos grandes clases de suelos que se asocian a la formación donde se encuentran: los desarrollados a partir de sedimentos aluviales, generalmente en la posición de las terrazas de los ríos y los suelos de origen coluvial, asociados a los conos de deyección o coluvios que se proyectan desde las laderas de los valles hacia las posiciones más bajas. Lógicamente que entre ambas situaciones características existen variaciones, combinaciones y superposiciones de ellas.

3.3.1 Valle del río Elqui

En los sectores más altos del valle el relieve es muy escarpado, con fuertes gradientes. Las montañas superan los 3.500 msnm y son frecuentes las cimas superiores a 5.000 msnm. La cadena montañosa está cortada por valles profundos, la mayoría de origen glacial o glaciofluvial. Las pendientes muy pronunciadas, la escasez de vegetación y exposición a fuertes vientos, determinan que estas áreas sean muy susceptibles a fenómenos de remoción en masa, por lo que son frecuentes las avalanchas y los desprendimientos de materiales superficiales que se encuentran sueltos. En las áreas de menor pendiente, donde es posible la acumulación de agua, se han formado suelos identificados como humedales, vegas de altura o veranadas y que están casi permanentemente inundados. Según Cepeda y Novoa (2008) en los llanos esteparios, los suelos son delgados (menos de 40 cm) con bajo contenido de MO (0,2%).

Los suelos más representativos de este valle, en sus sectores medios y bajos, se encuentran en posición de terrazas aluviales recientes o remanentes, en posiciones más elevadas en el paisaje (Figura 3-8, al final del Capítulo). En casos especiales, se han descrito en terrazas claramente más antiguas, en las cuales los suelos han tenido una evolución mayor. Como en muchos casos estas terrazas se apoyan en las laderas del valle, es posible que algunos de los suelos de origen aluvial se confundan con coluvios o piedmonts que, en general, tienen pendientes más elevadas. No obstante, continúan manteniendo las características aluviales a través de sus perfiles. Estos últimos son generalmente de tipo A-C y, en otros casos, pueden tener una evolución ligeramente mayor que se manifiesta por la presencia de un horizonte cámbico, con perfiles A-B-C.

Los suelos de origen aluvial y que se encuentran en las terrazas bajas son delgados y muy delgados (menos de 40 cm de profundidad); tienen un horizonte A con una clase textural entre franca y franco arenosa, con estructura de bloques subangulares medios débiles; el color generalmente es pardo a pardo oscuro en los matices 10YR y 7.5YR. Su límite inferior con el horizonte C es generalmente abrupto. Este horizonte C está constituido por gravas y piedras redondeadas que alcanzan al 80% en volumen, con arena y grava fina intersticial. También, puede estar constituido por una sucesión de estratos de arenas de diferente granulometría, mezcladas con gravas finas y medias, redondeadas. Los suelos son de topografía plana y sólo algunas Fases pueden ser ligeramente onduladas. Debido a sus características morfológicas, son de buen drenaje y con buena aptitud para cultivos de la zona; a la mayoría de ellos se les han asignado Clases II y III de Capacidad de Uso y solamente algunas Fases se han ubicado en Clase VI a causa de su escasa profundidad y excesiva pedregosidad. Ejemplos de estos suelos de mínimo desarrollo son las Series Chapilca (Torriorthent) y Puclaro (Torrifluent).

Otros suelos, en la misma posición geomorfológica, pero con mayor grado de evolución, tienen un perfil A – B – C y una profundidad de 60 a 90 cm sobre un sustrato de arenas y gravas que ocupan el 80% en volumen. El horizonte superficial posee una clase textural que puede variar entre franco arcillo limosa y franco arcillo arenosa, con estructura de bloques subangulares bien desarrollados. Los colores se mantienen en el pardo oscuro en los matices 10YR y 7.5YR. En el horizonte B, generalmente se incrementa el contenido de la fracción fina, al mismo tiempo que disminuye la cantidad de raíces finas. El contenido de CO no alcanza el 2% en el horizonte A y siempre disminuye en profundidad hasta valores de 0,1%. La CE siempre es más elevada en los horizontes superficiales y disminuye en profundidad, desde 1,4 a 0,6 dS m⁻¹. El contenido de carbonatos es bajo y sólo se presenta en algunos suelos. A la mayoría de las Fases de las Series reconocidas se les han asignado Clases de Capacidad de Uso entre II y III y solamente en algunos casos, a causa de un drenaje imperfecto, se les ha asignado Clase IV. Las Series características de este grupo son Alfalfares, las Palmeras de Coquimbo y Altovalsol (Typic Haplocambid). En el Cuadro 3-4, se muestran las principales propiedades de este último suelo.

Cuadro 3-4. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de la Serie Altovalsol (CIREN, 2005a)

| Profundidad (cm) | 0 – 19 | 19 – 36 | 36 – 62 | |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|-----|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A_p | B₁ | B₂ | |
| 2-1 | 3,7 | 7,2 | 8,3 | |
| 1-0,5 | 8,7 | 12,6 | 13,3 | |
| 0,5-0,25 | 8,8 | 9,5 | 11,7 | |
| 0,25-0,10 | 12,5 | 9,8 | 11,6 | |
| 0,10-0,05 | 16,0 | 9,7 | 9,4 | |
| 2-0,05 | 49,9 | 48,8 | 54,3 | |
| 0,05-0,002 | 27,6 | 29,2 | 14,3 | |
| < 0,002 | 22,5 | 22,0 | 31,4 | |
| Clase textural | FAa | F | FAa | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,6 | 1,6 | 1,5 | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 25,6 | 25,2 | 27,3 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 15,5 | 18,3 | 17,7 | |
| Carbono orgánico (%) | 1,5 | 0,7 | 0,4 | |
| pH _{agua} | 8,1 | 7,8 | 8,1 | |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 0,9 | 0,6 | 0,6 | |
| CaCO ₃ equivalente (%) | 0,0 | 0,0 | 0,6 | |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 14,8 | 18,3 | - |
| | Mg | 2,9 | 4,3 | - |
| | K | 0,7 | 0,4 | 0,4 |
| | Na | 0,6 | 0,8 | 1,2 |
| Suma (cmol _c kg ⁻¹) | 19,0 | 23,8 | - | |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | 19,1 | 24,2 | 20,8 | |
| Saturación básica pH 7,0 (%) | 99,0 | 98,0 | - | |

3.3.2 Valle del río Limarí

Bajo este título se incluyen los valles del río Hurtado y el río Grande, además del Limarí propiamente tal. Al igual que en los otros valles de la Zona, se encuentran suelos con diferente grado de desarrollo, con perfiles de tipo A-C, A-B-C y A-B_t-C, además de una sola Serie con características vérticas y un claro horizonte B_{ss}.

Los suelos con perfiles A-C ocupan posiciones de terrazas aluviales recientes o bien de coluvios con pendientes muy variables, desde 1-3% hasta 15-20% y con buen drenaje. Son suelos ligeramente profundos, de menos de 60 cm, con un sustrato de gravas y piedras angulares y subangulares que ocupan un 40% en volumen y una matriz que puede ser hasta arcillosa. Las clases texturales son finas, entre franco arcillo arenosa a franco arcillosa y la estructura es de bloques subangulares en los horizontes superficiales y subsuperficiales y sin estructura (maciza) en los horizontes en contacto con el sustrato. El contenido de MO es siempre bajo: 1,6% en el horizonte superficial y 0,2% en los horizontes inferiores. A causa de la variabilidad en las pendientes, también sus Fases presentan Clases de Capacidad de Uso muy variable, desde III hasta VII en los casos más extremos. En el Cuadro 3-5 se presentan las características principales de la Serie Huatulame (Typic Torriorthent), considerada como un suelo representativo de este grupo.

Cuadro 3-5. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de la Serie Huatulame (CIREN, 2005a)

| Profundidad (cm) | 0 – 16 | 16 – 59 | |
|--|----------------------|----------------------|-----|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A_p | C₁ | |
| 2-1 | 5,4 | 9,0 | |
| 1-0,5 | 8,7 | 15,5 | |
| 0,5-0,25 | 10,6 | 12,0 | |
| 0,25-0,10 | 11,8 | 5,6 | |
| 0,10-0,05 | 15,7 | 15,8 | |
| 2-0,05 | 52,2 | 57,9 | |
| 0,05-0,002 | 39,6 | 27,8 | |
| < 0,002 | 8,1 | 14,3 | |
| Clase textural | F | Fa | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,66 | - | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 13,2 | 15,9 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 6,2 | 7,4 | |
| Carbono orgánico (%) | 1,16 | 0,35 | |
| pH _{agua} | 7,35 | 7,62 | |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 1,2 | 0,3 | |
| CaCO ₃ equivalente (%) | 0,0 | 0,0 | |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 8,8 | 2,2 |
| | Mg | 2,0 | 0,5 |
| | K | 1,8 | 1,2 |
| | Na | 0,4 | 0,3 |
| Suma (cmol _c kg ⁻¹) | 19,0 | 13,0 | |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | 13,0 | 4,2 | |
| Saturación básica pH 7,0 (%) | 87,0 | 84,0 | |

Los suelos con un horizonte B (generalmente Haplocambids), se encuentran en terrazas aluviales con pendientes que no van más allá de 2 a 5%. Son suelos ligeramente profundos, de hasta 63 cm sobre un sustrato de gravas con matriz arenosa o franco arenosa. Dominan las estructuras de bloques fuertes y los suelos tienen una buena penetración radical. El contenido de CO es siempre inferior a 2% en superficie, con un decrecimiento regular en profundidad. En algunos casos la CE puede llegar a 5 dS m⁻¹, en los horizontes superficiales. La Capacidad de Uso puede variar entre II, III y IV dependiendo principalmente del drenaje, el que puede fluctuar entre imperfecto y pobre. La Serie Huamalata (Typic Haplocambid) constituye un ejemplo de estos suelos y sus propiedades se presentan en el Cuadro 3-6.

Cuadro 3-6. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de la Serie Huamalata (CIREN, 2005a)

| Profundidad (cm) | 0 - 13 | 13 - 27 | 27 - 40 | 40 - 63 | |
|--|----------------------|----------------------|-----------|----------------------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A_p | B_w | BC | C₁ | |
| 2-1 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | |
| 1-0,5 | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 1,0 | |
| 0,5-0,25 | 4,1 | 4,0 | 4,9 | 6,6 | |
| 0,25-0,10 | 19,1 | 21,7 | 27,1 | 20,8 | |
| 0,10-0,05 | 31,5 | 26,5 | 33,3 | 39,1 | |
| 2-0,05 | 55,4 | 52,8 | 66,2 | 67,7 | |
| 0,05-0,002 | 29,4 | 32,2 | 25,3 | 25,5 | |
| < 0,002 | 14,8 | 15,1 | 8,6 | 6,7 | |
| Clase textural | Fa | F | Fa | Fa | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,78 | 1,65 | 1,57 | - | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 13,8 | 13,0 | 9,5 | 8,2 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 9,2 | 8,2 | 5,9 | 5,2 | |
| Carbono orgánico (%) | 1,57 | 1,10 | 0,64 | 0,46 | |
| pH _{agua} | 7,20 | 7,63 | 7,81 | 8,03 | |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 4,9 | 1,0 | 0,6 | 0,5 | |
| Iones solubles extracto de saturación (mmol _c L ⁻¹) | Ca | 42,0 | 5,4 | 3,1 | 2,1 |
| | Mg | 14,7 | 1,7 | 1,0 | 0,6 |
| | K | 1,5 | 0,2 | 0,1 | 0,0 |
| | Na | 10,3 | 2,9 | 2,3 | 2,1 |
| Suma | 68,5 | 10,3 | 6,4 | 4,9 | |
| HCO ₃ (mmol _c L ⁻¹) | 6,0 | 3,8 | 1,2 | 2,0 | |
| Cl (mmol _c L ⁻¹) | 13,2 | 1,5 | 0,5 | 0,4 | |
| SO ₄ (mmol _c L ⁻¹) | 41,0 | 4,8 | 5,0 | 2,2 | |
| RAS | 1,9 | 1,6 | 1,6 | 1,8 | |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 15,9 | 13,5 | 11,0 | 9,8 |
| | Mg | 3,31 | 2,68 | 2,32 | 2,04 |
| | K | 0,70 | 0,31 | 0,14 | 0,10 |
| | Na | 0,64 | 0,35 | 0,32 | 0,32 |
| Suma (cmol _c kg ⁻¹) | 20,6 | 16,8 | 13,8 | 12,2 | |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | 19,6 | 18,7 | 16,0 | 14,3 | |
| Saturación básica pH 7,0 (%) | 100,0 | 90,0 | 86,0 | 85,0 | |

Otros suelos, moderadamente profundos (90 cm), se encuentran ocupando posiciones coluviales y de piedmont, con pendientes desde 5 a 8% hasta 20 a 40%. Presentan un mayor grado de desarrollo pedogénico, evidenciado a través de la presencia de un horizonte argílico (B_t). El horizonte superficial tiene una clase textural franco arcillosa que se hace arcillosa hacia los horizontes más profundos; la estructura es de bloques subangulares fuertes y los colores se encuentran en el matiz 7.5YR. A causa de las pendientes, presentan buen drenaje y su Capacidad de Uso es muy variable, desde III a VII. La Serie Serón (Typic Haplargid) representa a este grupo de suelos y en el Cuadro 3-7 se presentan sus principales propiedades.

Cuadro 3-7. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de la Serie Serón (CIREN, 2005a)

| Profundidad (cm) | 0 – 23 | 23 – 60 | 60 – 90 |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A_p | B₁ | B_t |
| 2-1 | 14,0 | 10,6 | 6,6 |
| 1-0,5 | 11,4 | 13,3 | 9,1 |
| 0,5-0,25 | 11,3 | 13,7 | 11,4 |
| 0,25-0,10 | 12,6 | 14,0 | 12,3 |
| 0,10-0,05 | 11,4 | 11,6 | 10,9 |
| 2-0,05 | 60,8 | 63,3 | 50,4 |
| 0,05-0,002 | 26,0 | 25,9 | 22,1 |
| < 0,002 | 13,2 | 10,8 | 27,5 |
| Clase textural | Fa | Fa | FAa |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,66 | 1,95 | 1,97 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 16,8 | 12,5 | 23,8 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 9,6 | 7,7 | 15,1 |
| Carbono orgánico (%) | 1,22 | 0,35 | 0,23 |
| pH _{agua} | 8,02 | 8,44 | 8,27 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 0,6 | 0,3 | 0,2 |
| CaCO ₃ equivalente (%) | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Iones solubles (extracto de saturación) (mmol _c L ⁻¹) | | | |
| Ca | 5,0 | 1,5 | 1,2 |
| Mg | 0,9 | 0,3 | 0,36 |
| K | 0,08 | 0,03 | 0,02 |
| Na | 1,0 | 0,7 | 0,6 |
| Suma | 7,0 | 2,5 | 2,2 |
| HCO ₃ (mmol _c L ⁻¹) | 4,8 | 2,0 | 1,5 |
| Cl (mmol _c L ⁻¹) | 0,4 | 0,1 | 0,1 |
| SO ₄ (mmol _c L ⁻¹) | 0,9 | 0,4 | 0,7 |
| Saturación agua (%) | 36,5 | 25,4 | 43,8 |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | | | |
| Ca | 17,8 | 16,0 | 23,2 |
| Mg | 2,6 | 2,33 | 6,41 |
| K | 0,25 | 0,13 | 0,11 |
| Na | 0,21 | 0,23 | 0,35 |
| Suma (cmol_c kg⁻¹) | 20,86 | 18,69 | 30,07 |
| CIC (pH 7,0) | 14,0 | 17,0 | 21,3 |
| Saturación básica pH 7,0 (%) | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

En el valle del Limarí se han descrito dos suelos con características vérticas muy claras, la Serie Tuquí (Petrocalcic Calcitorrert, CIREN, 2005a) y el suelo San Julián en la Viña Tabalí¹ (Sodic Haplotorrert, Aburto *et al.*, 2008). Se han diferenciado en dos unidades taxonómicas debido al mayor contenido de Na⁺ intercambiable y alto contenido en yeso (suelo San Julián) y porque el suelo de la Serie Tuquí se ha desarrollado sobre un horizonte petrocálcico, ausente en el suelo de la Viña Tabalí.

El suelo de la Serie Tuquí, de origen sedimentario, se encuentra ocupando una terraza aluvial antigua, ligeramente profundo, formado a partir de sedimentos provenientes de rocas básicas. Presenta un perfil evolucionado, con estructura prismática, alto contenido de arcilla, grietas y cutanes de stress, características que evidencian las propiedades vérticas. De textura superficial franco arcillo limosa y color pardo rojizo oscuro en el matiz 5YR; de textura arcillosa y color rojo oscuro en el matiz 2.5YR en profundidad. Descansa sobre un sustrato, que constituye un horizonte petrocálcico (85 cm) muy compactado, que impide el desarrollo radical en profundidad. El subsuelo presenta manchas de carbonato de calcio. Suelo de permeabilidad moderadamente lenta y de buen drenaje. Presenta ligera pedregosidad superficial. El contenido de CO varía desde 1,8% en superficie, hasta 0,2% en profundidad; la CE aumenta ligeramente hacia los horizontes más profundos. El contenido de CaCO₃ es elevado a través de todo el suelo, sobre 10% bajo el horizonte superficial y mayor aún en el horizonte petrocálcico; valor que se asume, pues no hay datos analíticos. Todas las Fases son bien drenadas, la mayoría de ellas se ubica en Clases III y IV de Capacidad de Uso. Algunas se ubican en Clases IV y otras en VI por escasa profundidad y/o mayor pendiente. En el Cuadro 3-8 se presentan las principales propiedades de este suelo.

Las propiedades del suelo San Julián son muy similares a las del suelo Tuquí. También se trata de un suelo sedimentario desarrollado en otra terraza del río Limarí. Es profundo (>125 cm), con más de 50% de arcilla entre los 13 y los 110 cm y con abundantes slikenes entre los 43 y los 110 cm de profundidad. Los colores también son muy similares: pardo rojizo oscuro y pardo rojizo en los matices 5YR y 2.5YR. En el horizonte 2C (110 a 125 cm) se describieron masas de yeso muy gruesas, además de 40% de fragmentos angulares no especificados. No se describieron carbonatos en el perfil ni tampoco un horizonte petrocálcico. El contenido de CO varía entre 0,9% en superficie y 0,3% en el horizonte más profundo. La CE se incrementa con la profundidad hasta alcanzar 10,7 dS m⁻¹ y la RAS llega a 38 entre los 63 y 110 cm de profundidad. Los análisis (Aburto *et al.*, 2008) demuestran que este suelo es rico en yeso, en particular en el horizonte 2C. La clasificación taxonómica a nivel de Subgrupo (Sodic) obedece a la elevada RAS que se encuentra sobre 13 en todos los horizontes, a excepción del horizonte Ap (figuras 3-9 y 3-10, al final del Capítulo).

¹ Este suelo corresponde a un perfil seleccionado para discusión en la *International Conference and Field Workshop on Soil Classification* (2008). Por lo tanto, no aparece como una unidad taxonómica separada en el Estudio Agrológico de la IV Región (CIREN, 2005a) sino que ha quedado asimilado como un Taxa Adjunto a la Serie Tuquí.

Cuadro 3-8. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de la Serie Tuquí (CIREN, 2005a)

| Profundidad (cm) | 0 - 18 | 18 - 69 | 69 - 85 | |
|---|----------------------|-----------------------|-----------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A_p | B_{ss} | BC | |
| 2-1 | 2,7 | 0,9 | 0,3 | |
| 1-0,5 | 5,1 | 4,0 | 3,3 | |
| 0,5-0,25 | 9,4 | 5,5 | 4,1 | |
| 0,25-0,10 | 11,8 | 7,0 | 5,1 | |
| 0,10-0,05 | 8,7 | 6,6 | 6,0 | |
| 2-0,05 | 37,7 | 24,0 | 18,8 | |
| 0,05-0,002 | 23,0 | 20,7 | 22,4 | |
| < 0,002 | 39,3 | 55,2 | 58,7 | |
| Clase textural | FA | A | A | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,75 | 1,93 | 1,91 | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 22,4 | 29,4 | 32,8 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 14,0 | 16,4 | 17,9 | |
| Carbono orgánico (%) | 1,80 | 0,35 | 0,23 | |
| pH _{agua} | 7,74 | 8,00 | 8,07 | |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 0,9 | 1,1 | 1,3 | |
| CaCO ₃ equivalente (%) | 0,7 | 11,9 | 10,7 | |
| Iones solubles (extracto de saturación) (mmol _c L ⁻¹) | Ca | 7,0 | 4,7 | 3,7 |
| | Mg | 1,8 | 2,3 | 2,9 |
| | K | 0,8 | 0,1 | 0,1 |
| | Na | 1,0 | 5,3 | 8,0 |
| Suma | 10,6 | 12,4 | 14,6 | |
| CO ₃ (mmol _c L ⁻¹) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| HCO ₃ (mmol _c L ⁻¹) | 5,4 | 1,8 | 1,6 | |
| Cl (mmol _c L ⁻¹) | 0,7 | 1,7 | 1,0 | |
| SO ₄ (mmol _c L ⁻¹) | 4,1 | 9,0 | 11,0 | |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 27,9 | 30,9 | 29,9 |
| | Mg | 4,57 | 9,35 | 13,6 |
| | K | 1,83 | 0,52 | 0,65 |
| | Na | 0,20 | 1,14 | 1,83 |
| Suma (cmol _c kg ⁻¹) | 34,5 | 41,9 | 46,0 | |
| CIC (pH 7,0) | 30,2 | 26,7 | 29,7 | |
| Saturación básica pH 7,0 (%) | 100,0 | 100,0 | 100,0 | |

3.3.3 Valle del río Choapa

Se incluyen también los suelos que se han descrito en el valle del río Illapel. En términos generales, los suelos de estos valles se pueden agrupar en dos clases, los suelos de origen aluvial que forman parte del sistema de terrazas aluviales recientes y de mayor antigüedad, la mayor parte de los cuales presentan pendientes bajas; y un segundo grupo de suelos derivados de rocas graníticas con diferente grado de meteorización y que ocupan los coluvios y piedmonts que jalonan ambos valles (Choapa e Illapel) y que, en varios casos, se superponen sobre las terrazas

aluviales. Todos los suelos se caracterizan por la presencia de horizontes B cámbicos, lo que demuestra una mayor madurez pedogénica que la descrita para los suelos del Valle del Elqui.

Los suelos que se ubican en posición de terraza aluvial, tienen topografía plana, o bien tienen 1 a 3% de pendiente; sólo en algunos casos, presentan pendientes de 2 a 5% y más raramente de 5 a 8%. El sustrato común a todos ellos lo constituye una mezcla de gravas redondeadas con arena y grava fina como material intersticial en porcentajes variables. Uno de los suelos descritos, la Serie Tranquilla (CIREN, 2005a), tiene un sustrato arcillo limoso con escasas gravas bajo los 100 cm de profundidad. Todos tienen colores pardos en los matices 7.5YR y 10YR y sólo la Serie Tunga (*op. cit.*) tiene un color rojo oscuro, en el matiz 2.5YR, en los horizontes inferiores. Las clases texturales de los horizontes superficiales son en su mayoría franco arcillo limosas y franco arcillo arenosas, mientras que en los horizontes subsuperficiales se hacen más finas, esto es, franco arcillosa, arcillo limosa y arcillosa. La estructura dominante es de bloques subangulares medios en sus diferentes grados y la profundidad del *solum* puede fluctuar entre 55 y 110 cm. El contenido de CO es inferior a 2% en superficie y decrece regularmente con la profundidad hasta valores de 0,3%. La mayoría de los suelos está libre de carbonatos o los presentan en cantidades despreciables; solamente la Serie Tunga los tiene en cantidades significativas: 2,9% en superficie y 9,3% en profundidad. Todos los suelos tienen perfiles del tipo A – B – C, en los cuales el horizonte B califica para horizonte cámbico. Las Clases de Capacidad de Uso se han definido principalmente en función de las Clases de Drenaje y la pedregosidad superficial; de esta manera, se han descrito Fases desde Clase I hasta Clase IV, en función de ambas características. En este grupo de suelos se incluyen las Series de Suelos Choapa, Huintil, Illapel, Quelén, Tranquilla y Tunga, todas clasificadas como Haplocambids (figuras 3-11 y 3-12, al final del Capítulo).

El segundo grupo de suelos identificables en el valle, corresponde a aquellos derivados de materiales graníticos que se encuentran preferentemente en posición de coluvios y de piedmonts. Sus pendientes son variables: 1-3% y 2-5% en las condiciones más planas y de 15-20% y 20-30%, las más escarpadas. La característica común es que el sustrato de todos ellos está constituido por granito con diferentes grados de meteorización o bien por arena granítica (del tipo *maicillo*). Los colores de los horizontes superficiales son pardo oscuro o pardo rojizo oscuro, en los matices 7.5YR y 5YR. Hacia los horizontes subsuperficiales se hacen más rojizos, en los mismos matices, con colores pardo fuerte o pardo rojizo oscuro. La clase textural de los horizontes superficiales varía entre franco arcillosa y franco arcillo arenosa, haciéndose más fina hacia los horizontes subsuperficiales, esto es arcillo arenosa y arcillosa. Solamente la Serie El Tambo escapa de esta tendencia, pues hacia los horizontes inferiores, las clases texturales son más gruesas, franco arenosa y areno francosa. En todos los suelos domina la estructura de bloques subangulares finos y medios con diferentes grados de cohesión. La profundidad del *solum* fluctúa entre 50 y 80 cm hasta el sustrato granítico. El contenido de CO, en los horizontes superficiales, es ligeramente superior al de los suelos de origen aluvial, alcanzando valores entre 1,7 y 3,7%, siempre con un decrecimiento gradual con la profundidad, hasta valores de 0,3%. Se han informado valores de CE de 0,4 hasta 4,9 dS m⁻¹, pero ninguno de estos suelos presenta carbonatos. Todos con buen drenaje, principalmente a causa de la posición que ocupan en el Valle. Las Clases de Capacidad de Uso varían desde III hasta VII, dependiendo de la pendiente, la pedregosidad y, en algunos casos, de la rocosidad superficial. Todos los perfiles son del tipo A-B-C, a excepción de la Serie Tahuinco, que tiene un horizonte B_i, por lo cual se ha clasificado como Paleargid. Además de esta Serie se han considerado en este grupo a las Series de Suelos Camisas, Cuncumén, Chillepín y El Tambo. En el Cuadro 3-9 se presentan, como ejemplo, las propiedades de la Serie Tahuinco (Typic Paleargid) (Figura 3-13, al final del Capítulo)

Cuadro 3-9. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de la Serie Tahuinco (CIREN, 2005a)

| Profundidad (cm) | | 0 – 12 | 12 – 30 | 30 – 58 |
|--|------------|----------------|---------|----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | A _p | B | B _t |
| | 2-1 | 3,3 | 5,2 | 1,7 |
| | 1-0,5 | 9,5 | 15,7 | 10,0 |
| | 0,5-0,25 | 14,9 | 16,6 | 12,2 |
| | 0,25-0,10 | 16,7 | 16,4 | 12,4 |
| | 0,10-0,05 | 13,9 | 10,9 | 10,1 |
| | 2-0,05 | 58,3 | 65,4 | 46,4 |
| | 0,05-0,002 | 23,4 | 19,7 | 20,4 |
| | < 0,002 | 18,3 | 15,0 | 33,2 |
| Clase textural | | Fa | Fa | FAa |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 1,50 | 1,58 | 1,91 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 17,5 | 11,5 | 14,5 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | | 10,8 | 6,8 | 9,5 |
| Carbono orgánico (%) | | 2,5 | 1,0 | 0,4 |
| Iones solubles (extracto de saturación) (mmol _c L ⁻¹) | Ca | 5,5 | 2,60 | 2,90 |
| | Mg | 2,62 | 0,84 | 0,99 |
| | K | 0,23 | 0,05 | 0,05 |
| | Na | 1,84 | 1,32 | 2,13 |
| Suma | | 10,2 | 4,8 | 6,1 |
| pH _{agua} | | 8,05 | 8,19 | 8,58 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | | 0,9 | 0,4 | 0,5 |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 16,7 | 11,1 | 19,5 |
| | Mg | 3,8 | 2,5 | 5,5 |
| | K | 0,4 | 0,2 | 0,3 |
| | Na | 0,3 | 0,2 | 0,5 |
| Suma (cmol _c kg ⁻¹) | | 21,2 | 14,0 | 25,8 |
| CO ₃ (mmol _c L ⁻¹) | | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| HCO ₃ (mmol _c L ⁻¹) | | 5,6 | 3,6 | 3,8 |
| Cl (mmol _c L ⁻¹) | | 0,4 | 0,3 | 0,5 |
| SO ₄ (mmol _c L ⁻¹) | | 3,4 | 0,8 | 1,1 |
| CIC (pH 7,0) | | 19,9 | 16,3 | 19,9 |
| Saturación básica pH 7,0 (%) | | 100 | 86 | 100 |

3.3.4 Valle del río Quilimarí

Cartográficamente, se ha identificado en este valle una Serie de Suelos del mismo nombre y cuyas principales propiedades se encuentran en el Cuadro 3-10. Se trata de un suelo moderadamente profundo, de origen sedimentario en posición de piedmont y terrazas intermedias y altas del valle del río Quilimarí. De clase textural superficial franco arcillo arenosa y color pardo rojizo oscuro en el matiz 5YR; en profundidad, la clase textural es arcillosa y el color es pardo rojizo y de igual matiz. El sustrato está constituido por gravas angulares y subangulares no meteorizadas, con matriz arcillosa de color rojo amarillento en el matiz 5YR. El CO varía desde 1,5% en superficie hasta 0,5% en profundidad. Este suelo presenta buen drenaje. Las Fases varían desde Clase III hasta VI de Capacidad de Uso, en función de la pendiente (hasta 8 a 15%) y de la profundidad del suelo (entre 50 y 100 cm). En el Cuadro 3-10 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de la Serie Quilimarí (Typic Haplocambid).

Cuadro 3-10. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de la Serie Quilimarí (CIREN, 2005a)

| Profundidad (cm) | | 0 - 20 | 20 - 40 | 40 - 80 |
|--|------------|----------------|----------------|----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | A ₁ | A ₂ | B _w |
| | 2-1 | 2,9 | 6,4 | 2,4 |
| | 1-0,5 | 11,3 | 6,8 | 2,5 |
| | 0,5-0,25 | 14,4 | 7,8 | 3,5 |
| | 0,25-0,10 | 18,3 | 12,0 | 5,4 |
| | 0,10-0,05 | 15,9 | 8,9 | 5,0 |
| | 2-0,05 | 62,7 | 41,9 | 18,8 |
| | 0,05-0,002 | 29,8 | 17,3 | 78,6 |
| | < 0,002 | 7,5 | 40,8 | 2,5 |
| Clase textural | | Fa | A | FL |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 1,71 | 1,57 | 1,81 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 14,5 | 38,2 | 13,6 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | | 4,7 | 19,7 | 4,7 |
| Carbono orgánico (%) | | 1,45 | 0,52 | 0,35 |
| pH _{agua} | | 6,50 | 8,20 | 7,37 |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 3,8 | 10,7 | 3,0 |
| | Mg | 2,06 | 10,5 | 2,19 |
| | K | 0,27 | 0,34 | 0,11 |
| | Na | 0,22 | 7,65 | 0,72 |
| Suma (cmol _c kg ⁻¹) | | 6,35 | 29,19 | 6,02 |
| CIC(pH 7,0) | | 4,4 | 28,2 | 3,7 |
| Saturación básica pH 7,0 (%) | | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

3.4 Suelos del Sector Costero

Los suelos de todo este sector caen todavía en el concepto de Régimen de Humedad arídico, debido a que la sección de control de los suelos se encuentra seca por más de la mitad del tiempo acumulativo, cuando la temperatura del suelo se encuentra sobre los 5°C. Al mismo tiempo, el Régimen de Temperatura es isotérmico, porque la temperatura media anual del suelo (TMAS) fluctúa entre 15°C y 22°C y la diferencia entre la temperatura media del verano (TMV) y la temperatura media del invierno (TMI) difieren en menos de 6°C (Soil Survey Staff, 2003), a causa de la fuerte influencia marítima que domina en toda el área.

En estos sectores se reconocen claramente dos clases de formaciones geomorfológicas: las terrazas marinas y los cerros del batolito costero. Los suelos que se desarrollan en ambas formaciones presentan diferencias de posición topográfica, de desarrollo pedogénico y morfológicas en el perfil. Se asume que toda la costa de esta región corresponde a un litoral de emergencia, por lo que el perfil de la costa aparece en su mayor parte muy uniforme y parejo, con muy pocos accidentes geográficos, tales como islas, penínsulas pronunciadas y canales que caracterizan, por ejemplo, al litoral de inmersión desde la Isla de Chiloé hacia el Sur.

3.4.1 Suelos de las terrazas marinas

Las terrazas se presentan en varios escalones desde la línea litoral. Paskoff (1970), distingue tres niveles de planicies como dominantes y que presentan una ligera inclinación hacia el oeste, aun cuando hay áreas donde reconoce la existencia de otros niveles adicionales. En estudios más recientes, Saillard *et al.* (2009) distinguen 5 niveles de terrazas en la zona, con altitudes aproximadas de 6, 25, 55, 170 y 425 msnm (Figura 3-14). Cada plataforma constituye una superficie de abrasión marina tallada en rocas ígneas, que actualmente se encuentran cubiertas con sedimentos siliciclásticos de menos de 20 cm de espesor (Figura 3-15, al final del Capítulo).

En el extenso trabajo de Paskoff (1970) se puede encontrar una detallada descripción de la geomorfología y de la geología de estas áreas para la Zona Árida y Semiárida de Chile. Desde el punto de vista edáfico es posible establecer algunas diferencias entre los suelos que se encuentran en posición de terrazas: los suelos de las terrazas bajas e intermedias en altura, en las cuales se encuentran: a) suelos sin desarrollo de perfil, b) suelos con horizonte cálcico, c) suelos con *tertel* y d) suelos con horizonte nátrico. Los suelos de terrazas intermedias y altas presentan, generalmente, un mayor desarrollo pedogénico, que se evidencia por la presencia de horizontes cámbicos y, en algunos casos, horizontes argílicos.

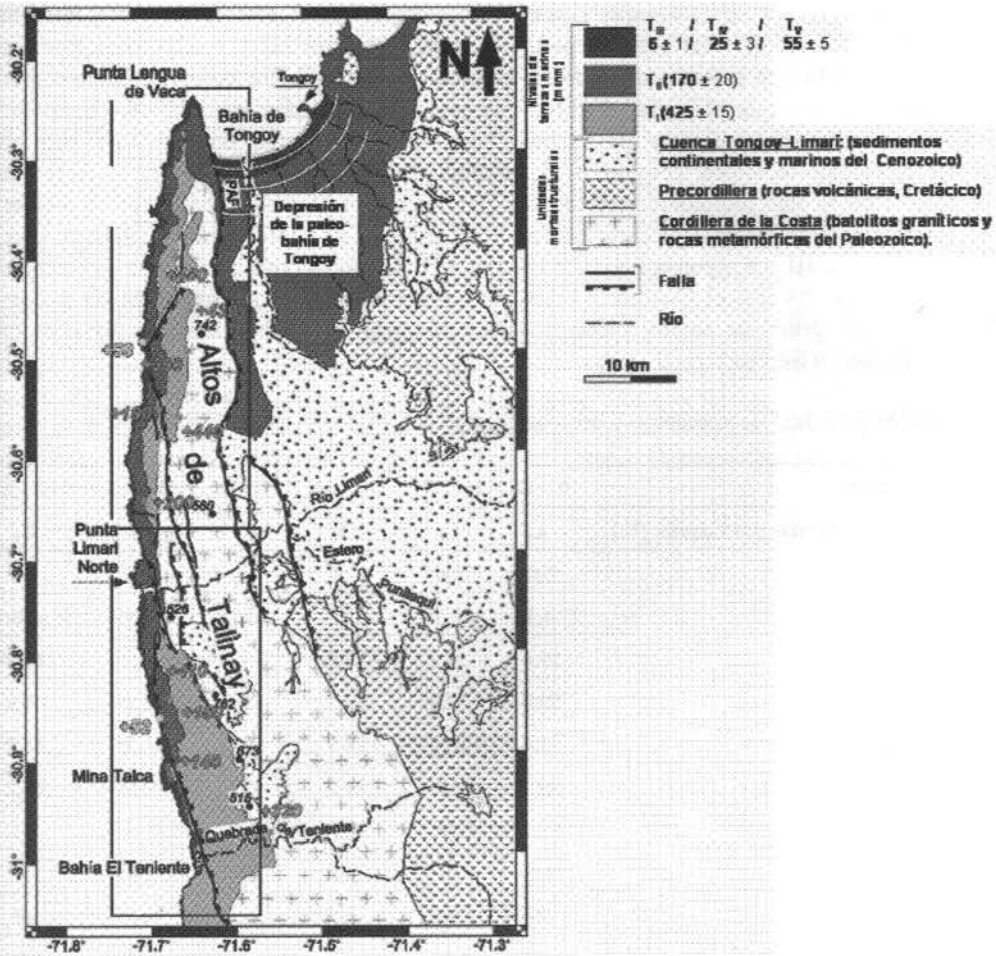


Figura 3-14. Distribución de los distintos niveles (I, II, III, IV y V) de terrazas marinas en la Zona Árida y Semiárida (Saillard et al., 2009).

Suelos sin desarrollo de perfil. En las terrazas bajas e intermedias, particularmente en las cercanías de la ciudad de Los Vilos y hacia el norte de ella (entre $30^{\circ}00'$ y $31^{\circ}45'$), y en sectores próximos a la ciudad de La Serena, se encuentran dunas estabilizadas que han dado origen a suelos de muy escaso desarrollo, lo que se distingue por la ausencia de horizontes de diagnóstico. Las pendientes son uniformes, con una gradiente que puede alcanzar hasta 6%, con algunos afloramientos rocosos, pero sin pedregosidad ni en la superficie ni en el perfil (Figura 3-16, al final del Capítulo). Los perfiles, del tipo A - C, son de texturas gruesas, arenosas, areno francosas hasta franco arenosas, con límites claros y difusos entre los horizontes o estratas. La profundidad de los suelos puede llegar hasta los 150 cm. Los colores dominantes son pardo fuerte y pardo amarillento (10YR y 7.5YR), con croma y valores altos (4/4 y 5/6). En algunos suelos los colores pueden llegar al pardo rojizo en el matiz 5YR. A estas arenas se les ha asignado un origen granítico, lo cual parece lógico si se considera que el Batolito está constituido predominantemente por esta roca ígnea. El pH (H_2O) fluctúa entre 6,3 y 8,0; el contenido de MO, en el horizonte superficial, puede alcanzar hasta 2%, lo cual sugiere un mayor nivel de fertilidad y una mayor estabilidad de las dunas cercanas. La CIC se encuentra bajo los $10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. La SB es variable,

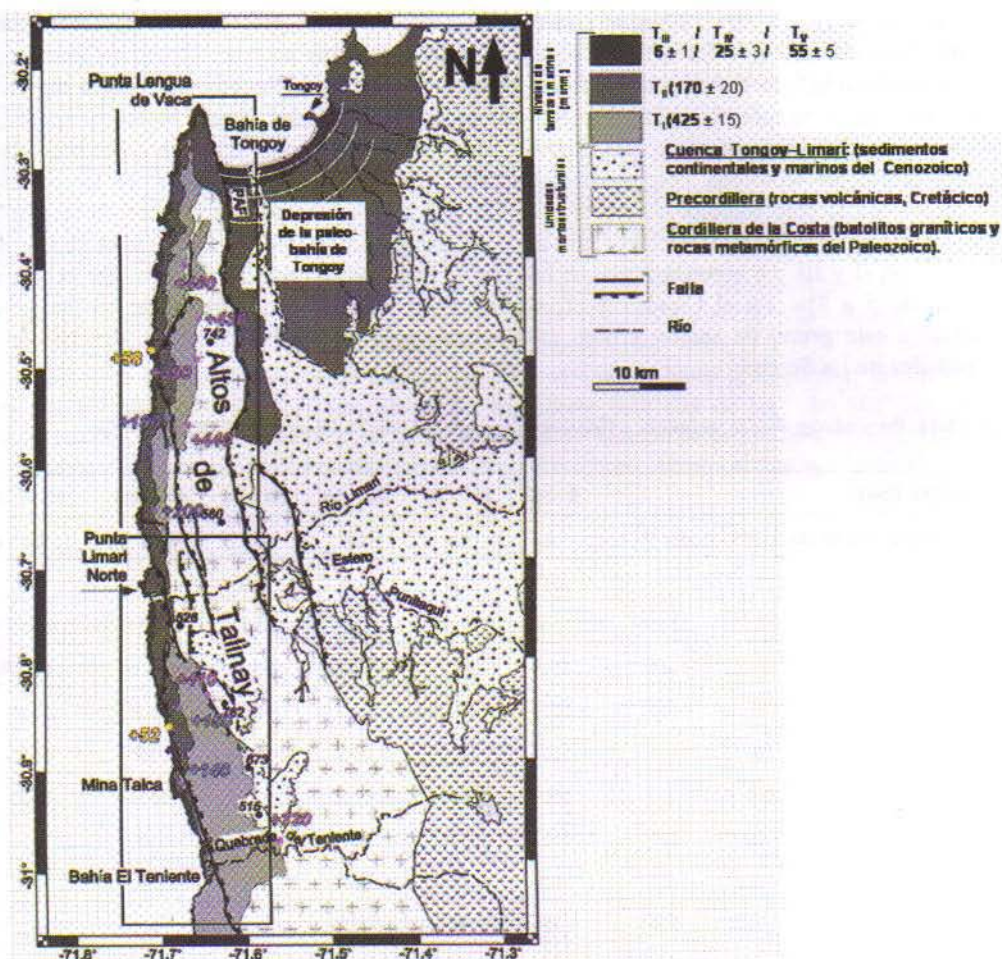


Figura 3-14. Distribución de los distintos niveles (I, II, III, IV y V) de terrazas marinas en la Zona Árida y Semiárida (Saillard *et al.*, 2009).

Suelos sin desarrollo de perfil. En las terrazas bajas e intermedias, particularmente en las cercanías de la ciudad de Los Vilos y hacia el norte de ella (entre $30^{\circ}00'$ y $31^{\circ}45'$), y en sectores próximos a la ciudad de La Serena, se encuentran dunas estabilizadas que han dado origen a suelos de muy escaso desarrollo, lo que se distingue por la ausencia de horizontes de diagnóstico. Las pendientes son uniformes, con una gradiente que puede alcanzar hasta 6%, con algunos afloramientos rocosos, pero sin pedregosidad ni en la superficie ni en el perfil (Figura 3-16, al final del Capítulo). Los perfiles, del tipo A - C, son de texturas gruesas, arenosas, areno francosas hasta franco arenosas, con límites claros y difusos entre los horizontes o estratas. La profundidad de los suelos puede llegar hasta los 150 cm. Los colores dominantes son pardo fuerte y pardo amarillento (10YR y 7.5YR), con croma y valores altos (4/4 y 5/6). En algunos suelos los colores pueden llegar al pardo rojizo en el matiz 5YR. A estas arenas se les ha asignado un origen granítico, lo cual parece lógico si se considera que el Batolito está constituido predominantemente por esta roca ígnea. El pH (H_2O) fluctúa entre 6,3 y 8,0; el contenido de MO, en el horizonte superficial, puede alcanzar hasta 2%, lo cual sugiere un mayor nivel de fertilidad y una mayor estabilidad de las dunas cercanas. La CIC se encuentra bajo los $10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. La SB es variable,

puede fluctuar entre 2 y 80%, siempre con Ca como catión dominante. La CE, generalmente se encuentra bajo $0,8 \text{ dS m}^{-1}$. En algunos pedones se han descrito rasgos redoximórficos bajo el metro de profundidad, en la forma de nódulos y láminas delgadas de Fe, cuya presencia sugiere un régimen más húmedo que el actual. También es probable que estos suelos hayan ocupado una posición deprimida en el paisaje y que se encuentren, en la actualidad, en posiciones más altas a causa de actividad tectónica (Figura 3-17, al final del Capítulo). A pesar de estos rasgos pedogénicos, no se han reconocido horizontes cámbicos, por lo cual todos estos suelos se han clasificado como Torripsamments (Soil Survey Staff, 2003). Las Clases de Capacidad de Uso más frecuentes son II y III y a algunas Fases se les asignó la Clase IV, principalmente por pendientes complejas de 5 a 8%. En el Cuadro 3-11, se describen algunas propiedades de un pedón que caracteriza a este grupo de suelos y que corresponde a la Serie La Compañía, descrita en las proximidades de La Serena.

Cuadro 3-11. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de la Serie La Compañía (CIREN, 2005a)

| Profundidad (cm) | 0 - 12 | 12 - 30 | 30 - 50 | 50 - 80 | 80 - 105 | 105 - 120 |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A_p | C₁ | C₂ | C₃ | C₄ | C₅ |
| 2-1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1-0,5 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,3 |
| 0,5-0,25 | 17,6 | 19,7 | 17,9 | 24,0 | 16,1 | 15,3 |
| 0,25-0,10 | 50,2 | 52,9 | 52,5 | 49,7 | 48,0 | 49,9 |
| 0,10-0,05 | 17,6 | 18,6 | 18,5 | 18,1 | 19,1 | 18,7 |
| 2-0,05 | 85,7 | 91,5 | 89,2 | 92,1 | 93,8 | 84,2 |
| 0,05-0,002 | 10,3 | 5,4 | 7,4 | 5,3 | 3,6 | 4,1 |
| < 0,002 | 4,0 | 3,1 | 3,4 | 2,6 | 2,6 | 11,7 |
| Clase textural | aF | a | a | a | a | aF |
| Densidad aparente (Mg m^{-3}) | 1,63 | 1,69 | 1,59 | 1,75 | 1,83 | 1,96 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 4,0 | 3,2 | 2,9 | 2,9 | 9,2 | 9,5 |
| Agua retenida 1500 kPa (%) | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 2,2 | 6,8 | 6,3 |
| Carbono orgánico (%) | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| pH _{agua} | 6,3 | 6,7 | 6,6 | 6,9 | 6,9 | 7,2 |
| Conductividad eléctrica (dS m^{-1}) | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| CaCO ₃ equivalente (%) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Ca | 1,1 | 0,8 | 0,8 | 0,6 | 1,7 | 1,6 |
| Cationes extraíbles ($\text{cmol}_e \text{kg}^{-1}$) | Mg | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 3,7 |
| K | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,5 | 0,5 |
| Na | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,7 | 0,6 |
| Suma ($\text{cmol}_e \text{kg}^{-1}$) | 2,4 | 2,1 | 2,1 | 1,9 | 6,6 | 6,4 |
| CIC (pH 7,0) ($\text{cmol}_e \text{kg}^{-1}$) | 4,4 | 3,8 | 3,6 | 2,6 | 8,2 | 8,9 |
| Saturación básica pH 7,0 (%) | 55,0 | 55,0 | 58,0 | 73,0 | 80,0 | 72,0 |

Suelos con horizonte cálcico. La mayoría de estos suelos se encuentra en posición de piedmont y son ligeramente profundos a profundos. De clase textural superficial franco arcillo arenosa y color pardo oscuro en el matiz 7.5YR; en profundidad son arcillosos y de color pardo rojizo en el matiz 5YR. Generalmente no muestran reacción al HCl en los horizontes superficiales; sin embargo, el contenido de carbonatos se incrementa en profundidad, hasta horizontes cálcicos con reacción violenta. El horizonte B cámbico está bien desarrollado y puede presentar varias subdivisiones que, en algunos casos, puede incluir un horizonte cálcico (B_k). La textura es predominantemente fina, con extremos entre arcillo limosa a arcillo arenosa; sin embargo, la mayor parte de los horizontes B presenta grava fina angular, que en algunos casos puede alcanzar hasta el 30% del volumen. La estructura presenta mayores variaciones, que va desde bloques subangulares bien desarrollados hasta estructura prismática. Algunos perfiles evidencian un grado de no estructura maciza. Los colores se mantienen en los matices 5YR y 7.5YR; con valores normalmente altos, entre 3 y 5 y cromas igualmente elevados, entre 4 y 5. Los horizontes B_k pueden tener cromas de hasta 6. El espesor de los horizontes B puede fluctuar entre 45 y 70 cm, pudiendo extenderse más allá de los 90 cm. Las Clases de Capacidad de Uso varían entre III y IV, principalmente en función de la pendiente. En el Cuadro 3-12, se presentan algunas propiedades de la Serie Barrales (Typic Haplocalcíd) que caracteriza a estos suelos.

Cuadro 3-12. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de la Serie Barrales (CIREN, 2005a)

| Profundidad (cm) | 0 - 16 | 16 - 36 | 36 - 52 | 52 - 71 | 71 - 95 | 95 - 125 | |
|--|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A_p | B₁ | B_{k1} | B_{k2} | B_{k3} | C_k | |
| 2-1 | 0,3 | 0,7 | 1,4 | 1,8 | 3,0 | 3,0 | |
| 1-0,5 | 3,4 | 4,3 | 4,2 | 4,3 | 6,8 | 6,1 | |
| 0,5-0,25 | 11,4 | 11,1 | 9,2 | 6,0 | 7,5 | 7,4 | |
| 0,25-0,10 | 21,5 | 19,5 | 14,2 | 10,1 | 12,2 | 11,7 | |
| 0,10-0,05 | 10,4 | 9,3 | 7,3 | 7,4 | 8,3 | 7,7 | |
| 2-0,05 | 47,0 | 44,9 | 36,3 | 29,6 | 37,8 | 35,9 | |
| 0,05-0,002 | 22,7 | 20,2 | 20,4 | 39,7 | 41,4 | 36,5 | |
| < 0,002 | 30,3 | 34,9 | 43,3 | 30,7 | 20,8 | 27,6 | |
| Clase textural | FAa | FA | A | FA | F | FA | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 23,0 | 23,8 | 28,3 | 27,8 | 26,9 | 29,2 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 15,1 | 16,1 | 18,8 | 18,6 | 17,9 | 18,3 | |
| Carbono orgánico (%) | 0,9 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | |
| pH _{agua} | 8,2 | 8,4 | 8,5 | 8,7 | 8,7 | 8,8 | |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,9 | 1,4 | |
| CaCO ₃ equivalente (%) | 1,5 | 4,6 | 21,7 | 49,2 | 58,3 | 56,2 | |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | - | - | - | - | - | |
| | Mg | - | - | - | - | - | |
| | K | 1,4 | 0,5 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| | Na | 0,6 | 0,9 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,7 |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | 26,0 | 25,2 | 23,6 | 14,6 | 11,8 | 13,7 | |

Suelos con *Tertel*. Los suelos que presentan este horizonte limitante se encuentran en posición de terrazas marinas y también en posición de coluvios y piedmonts adosados entre las terrazas y el batolito costero. Se trata de suelos ligeramente profundos y delgados, cuyo sustrato lo constituye una capa dura y extremadamente dura que, en algunos suelos, está constituida casi exclusivamente por carbonatos endurecidos y en otros, la cementación es una mezcla de sílice y manganeso sin reacción. A ambas clases de sustrato se les conoce localmente como *tertel*, sin hacer una diferenciación acerca de su composición, más bien haciendo referencia a que se trata de una capa extremadamente dura y completamente limitante al paso del agua y las raíces. Esta es la razón por la cual se han considerado conjuntamente a ambas clases de suelos en esta sección.

En el caso de los suelos con *tertel* calcáreo es necesario hacer una diferenciación entre los suelos cuyo sustrato es una roca calcárea no relacionada pedogénicamente con el suelo, de aquellos suelos que poseen un horizonte petrocálcico ($B_{km}-C_{km}$) cuyo origen está directamente relacionado con los procesos de formación del suelo (Figura 3-18 al final del Capítulo). En ambos casos la reacción al HCl es de moderada a violenta, con niveles de carbonatos que varían de 13 a 35% en los horizontes superficiales y más de 50% en el sustrato. En los suelos que se encuentran sobre roca calcárea no relacionada, las clases texturales presentan escasa variación en los horizontes superficiales, entre franca y franco arenosa, en cambio en los horizontes subsuperficiales puede variar entre franca y arcillosa. Los colores son pardos en superficie en los matices 7.5YR y 10YR y se hacen más rojos en los horizontes subsuperficiales; el horizonte petrocálcico presenta colores desde grises oscuros hasta grises claros (5YR7/1). El pH se mantiene a través de los perfiles sobre 8 a causa de la presencia de carbonatos; consecuentemente, el complejo de intercambio está siempre saturado. El CO siempre decrece regularmente con la profundidad, desde valores máximos de 1,5% hasta 0,3% y la CE es siempre bajo 1 dS m⁻¹. El uso de estos suelos es limitado, ya sea por la escasa profundidad del *solum* que, en algunas Fases no supera los 25 cm, por las gradientes para aquellos casos en posición de coluvios con más de 15% de pendiente, o bien por la pedregosidad superficial, que puede ser de moderada a abundante. Por estas razones, las Clases de Capacidad de Uso más comunes son III y IV, pero en casos excepcionales, VI y VII. Las Series Millahue y Cerrillos de Elqui son los suelos más representativos de este grupo. En el Cuadro 3-13 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de esta última, clasificada como Calcíd Petrocalcíd.

Cuadro 3-13. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de la Serie Cerrillos de Elqui, (CIREN, 2005a)

| Profundidad (cm) | 0 – 15 | 15 – 32 | 32 – 55 | |
|--|----------------------|------------------------|------------------------|-----|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A_p | B_{kl1} | B_{kl2} | |
| 2-1 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | |
| 1-0,5 | 4,5 | 4,5 | 4,8 | |
| 0,5-0,25 | 8,0 | 8,4 | 6,9 | |
| 0,25-0,10 | 21,7 | 21,8 | 18,5 | |
| 0,10-0,05 | 13,8 | 14,0 | 11,2 | |
| 2-0,05 | 50,4 | 51,4 | 43,8 | |
| 0,05-0,002 | 30,8 | 32,2 | 34,5 | |
| < 0,002 | 18,8 | 16,4 | 21,7 | |
| Clase textural | F | F | F | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,39 | 1,42 | - | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 23,0 | 23,0 | 25,5 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 18,3 | 14,7 | 19,5 | |
| Carbono orgánico (%) | 1,5 | 0,9 | 0,5 | |
| pH _{agua} | 8,1 | 8,1 | 8,0 | |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 0,9 | 0,9 | 0,9 | |
| CaCO ₃ equivalente (%) | 13,0 | 15,6 | 32,5 | |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | - | - | - |
| | Mg | - | - | - |
| | K | 2,8 | 1,7 | 0,6 |
| | Na | 0,5 | 0,6 | 0,7 |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | 23,2 | 19,2 | 16,1 | |

Los suelos que se encuentran sobre un horizonte petrocálcico de naturaleza pedogénica han sido descritos en los alrededores de la bahía de Tongoy (Figura 3-18, al final del Capítulo). Esta última se considera una paleobahía de sedimentación (Saillard *et al.*, 2009), fuertemente influenciada por las fluctuaciones relativas del nivel del mar, por cambios eustáticos y controles tectónicos tanto regionales como locales. Durante una serie de transgresiones y regresiones marinas, la bahía fue llenada con arenas, coquinas y gravas (Le Roux *et al.*, 2006). Uno de los suelos característicos descritos en las terrazas próximas a Tongoy muestra en el horizonte superficial un color pardo (10YR4/3), una clase textural franco arenosa y una pedregosidad superficial moderada. En los horizontes subsuperficiales el color es pardo a pardo rojizo en los matices 7.5YR y 5YR y de clase textural franco arcillosa y franco arcillo arenosa. Entre los 28 y 56 cm de profundidad se describió un horizonte nátrico a causa de su estructura prismática, el incremento de arcilla de más de 20% entre el horizonte eluvial y el iluvial y la RAS de 20 (Aburto *et al.*, 2008). El horizonte petrocálcico está formado por una sucesión de capas laminares en su parte superior y el contenido de CaCO₃ es de 68% (Figura 3-19, al final del Capítulo). A causa de estas propiedades se le clasificó como Natric Petrocalcid (*op.cit.*) (Figura 3-20, al final del Capítulo).

Otros suelos, sin reacción al HCl a través de todo el perfil, se encuentran sobre un duripán, sustrato compactado y cementado con sílice y manganeso. Ocupan la posición de terrazas y también de coluvio, con pendientes de 1 a 3%, 3 a 8% hasta 8 a 15%. El color de los horizontes superficiales es pardo o pardo rojizo en los matices 7.5YR y 5YR, que se hace más rojo hacia los horizontes inferiores hasta un rojo débil (2.5YR4/2). Aún cuando en los horizontes superficiales las clases texturales son medias, éstas se hacen finas en los horizontes próximos al duripán, franco arcillo arenosa y arcillosa. Las raíces son escasas y desaparecen en el duripán, a excepción de aquellas que logran penetrar por las grietas. El contenido de CO es ligeramente superior a 1% en el epipedón y llega a 0,1% en profundidad; el pH varía de 6,6 a 8,6 y la CE puede alcanzar valores de 1,2 dS m⁻¹ en algunos horizontes, pero lo corriente es que se encuentre bajo 0,5 dS m⁻¹. Todos los suelos de esta categoría presentan buen drenaje y sus limitaciones de uso provienen de la escasa profundidad, las pendientes que pueden llegar a ser excesivas y, en algunos casos, la excesiva pedregosidad superficial. Estas características hacen que las Clases de Capacidad de Uso III y IV sean las dominantes. Las Series de Suelos utilizadas para este análisis son La Torta, Quebrada de Martínez, Tambillo y Xeres. En el Cuadro 3-14, se presentan las principales propiedades de la Serie Tambillo (Cambidic Haplodurid).

Cuadro 3-14. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de la Serie Tambillo (CIREN, 2005a)

| Profundidad (cm) | 0 - 17 | 17 - 33 | 33 - 48 | 48 - 61 |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A_p | B₁ | B₂ | B₃ |
| 2-1 | 3,0 | 5,0 | 11,1 | 8,5 |
| 1-0,5 | 11,8 | 13,1 | 19,2 | 17,3 |
| 0,5-0,25 | 18,2 | 17,5 | 8,1 | 11,0 |
| 0,25-0,10 | 19,5 | 18,8 | 7,4 | 11,2 |
| 0,10-0,05 | 12,4 | 11,6 | 6,4 | 8,4 |
| 2-0,05 | 64,9 | 66,0 | 52,2 | 56,4 |
| 0,05-0,002 | 26,3 | 23,7 | 18,4 | 18,3 |
| < 0,002 | 8,8 | 10,3 | 29,4 | 25,3 |
| Clase textural | Fa | Fa | FAa | FAa |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 12,5 | 12,2 | 20,6 | 21,4 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 5,8 | 6,0 | 15,0 | 15,2 |
| Carbono orgánico (%) | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,1 |
| pH _{agua} | 6,9 | 7,2 | 7,0 | 8,2 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 0,8 | 0,5 | 0,8 | 1,2 |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | | | | |
| Ca | 3,6 | 4,8 | 8,5 | 11,8 |
| Mg | 2,0 | 3,1 | 9,4 | 13,1 |
| K | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Na | 0,2 | 0,4 | 1,7 | 3,5 |
| Suma (cmol _c kg ⁻¹) | 6,1 | 8,4 | 19,7 | 28,5 |
| CIC pH 7,0 (cmol _c kg ⁻¹) | 7,6 | 9,6 | 23,8 | 28,5 |
| Saturación básica pH 7,0 (%) | 80,0 | 88,0 | 83,0 | 100,0 |

La formación de estos panes cementados con sílice (duripanes) se extiende hacia el interior, como ocurre en las proximidades de la localidad de Las Cardas, entre Coquimbo y Ovalle. También se presentan suelos con carbonatos en el perfil y como panes endurecidos, aun cuando son más localizados. En todo caso, dominan los suelos cuyo sustrato está constituido por panes silíceos que incluyen además, abundante Fe y Mn. Pareciera ser que estos duripanes se han formado bajo un suelo diferente al actual, el cual fue erosionado, dejando al descubierto el duripán. En el presente estos duripanes están bajo sedimentos coluviales de naturaleza variable, que constituyen los suelos actuales en discordancia con el sustrato (límite abrupto entre el suelo y el duripán). La mineralogía de la fracción fina indica que el mineral más abundante es montmorillonita y en segundo lugar es caolinita (Aburto *et al.*, 2008) (figuras 3- 21 y 3-22, al final del Capítulo).

Suelos con horizonte nátrico. Existen algunos sectores muy localizados, en las cercanías de Huentelauquén, con pendientes desde ligera (2 a 5%) a suavemente onduladas (5 a 8%), donde los suelos presentan sodicidad (Figura 3-23, al final del Capítulo), manifestada por la presencia de un horizonte nátrico, además de otras evidencias de exceso de sodio, tales como manchas superficiales de MO dispersa (Figura 3-24, al final del Capítulo). El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en los horizontes nátricos puede variar entre 21 y 65%. Se trata de suelos de clases texturales finas en los horizontes superficiales y subsuperficiales, esto es, franco arcillosa, franco arcillo arenosa, franco limosa o arcillosa. La estructura del horizonte B_t es prismática y en algunos casos columnar, con abundantes cutanes en las caras de los agregados. Es destacable la presencia de concreciones de Fe y Mn abundantes en todos los horizontes B_t descritos. Este rasgo evidencia la presencia de períodos de exceso de agua, seguidos por períodos en que los suelos se encuentran secos, proceso que se asocia tanto a la distribución de las precipitaciones como a la topografía ondulada en la que se distribuyen. En general, los colores se encuentran en los matices pardos y pardo oscuros (7.5YR y 10YR) e, igualmente que otros suelos del área, el croma y el valor son altos (4/4 a 6/4). Es frecuente encontrar en los horizontes subsuperficiales clastos angulares o facetados de origen coluvial, cuya presencia se debe a la influencia de fenómenos de flujos laterales desde los lomajes y cerros propios de la Cordillera de la Costa. Las masas esféricas de carbonatos parecen provenir de la meteorización de fragmentos gruesos *in situ*, en un medio alcalino. El suelo aparece con múltiples discontinuidades litológicas, indicando numerosos eventos geológicos y pedogénicos intercalados. Se les ha clasificado como Natrargids, en los subgrupos Typic y Xerollic. En el Cuadro 3-15 se presentan algunas propiedades químicas y físicas de un Typic Natrargid, descrito en las proximidades de Huentelauquén. Cartográfica y taxonómicamente corresponde a la Serie Huentelauquén (figuras 3-25 y 3-26, al final del Capítulo).

Cuadro 3-15. Propiedades físicas y químicas de la Serie Huentelauquén (CIREN, 2005a)

| Profundidad (cm) | | 0 – 7 | 7 – 25 | 25 – 52 | 52 – 81 | 81 – 123 |
|--|----|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | A₁ | A₂ | B_{t1} | B_{t2} | B_{t3} |
| 2-0,05 | | 26,0 | 24,0 | 12,0 | 24,0 | 14,0 |
| 0,05-0,002 | | 60,0 | 60,0 | 22,0 | 18,0 | 22,0 |
| < 0,002 | | 14,0 | 16,0 | 66,0 | 58,0 | 64,0 |
| Clase textural | | FL | FL | A | A | A |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 1,20 | 1,35 | 1,42 | 1,48 | 1,50 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 11,00 | 10,80 | 33,20 | 30,00 | 29,30 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | | 6,43 | 6,08 | 24,40 | 22,30 | 20,00 |
| Carbono orgánico (%) | | 0,75 | 0,60 | 0,28 | - | - |
| pH _{agua} | | 7,5 | 7,5 | 8,4 | 8,3 | 8,4 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | | 3,08 | 3,03 | 5,29 | 6,45 | 5,28 |
| CaCO ₃ equivalente (%) | | 0,5 | 0,5 | 2,4 | 15,5 | 20,9 |
| Iones solubles extracto de saturación (mmol _c L ⁻¹) | Ca | 6,35 | 4,43 | 2,74 | 3,06 | 2,18 |
| | Mg | 4,39 | 3,60 | 3,95 | 5,21 | 3,44 |
| | K | 1,45 | 0,45 | 0,56 | 0,68 | 0,54 |
| | Na | 18,70 | 20,90 | 46,50 | 58,30 | 46,30 |
| Suma (mmol _c L ⁻¹) | | 30,89 | 29,38 | 53,75 | 67,25 | 52,46 |
| HCO ₃ (mmol _c L ⁻¹) | | 1,00 | 1,25 | 4,00 | 4,25 | 3,75 |
| Cl (mmol _c L ⁻¹) | | 27,10 | 28,20 | 46,30 | 55,80 | 47,00 |
| SO ₄ (mmol _c L ⁻¹) | | 3,04 | 2,04 | 6,64 | 8,82 | 8,40 |
| RAS | | 8,07 | 10,43 | 25,42 | 28,67 | 27,62 |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 2,30 | 2,40 | 5,60 | 20,00 | 19,50 |
| | Mg | 0,92 | 1,50 | 10,20 | 9,90 | 9,00 |
| | K | 0,97 | 0,66 | 2,41 | 1,99 | 1,75 |
| | Na | 1,19 | 1,55 | 9,77 | 10,00 | 9,56 |
| Suma (cmol _c kg ⁻¹) | | 5,38 | 6,11 | 27,98 | 41,89 | 39,81 |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | | 7,64 | 7,83 | 22,9 | 21,8 | 20,9 |
| Saturación básica (%) | | 70,0 | 78,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

3.4.2 Suelos en posición de lomajes y cerros de la Cordillera de la Costa

Desde el punto de vista geológico, se trata de una formación relativamente homogénea, constituida esencialmente por rocas ígneas graníticas o asociadas al granito. Desde el punto de vista topográfico, presenta variaciones de relieve, desde sectores suavemente ondulados (5 a 8% de pendiente) hasta lomajes (20 a 30% de pendiente). Desde el punto de vista edáfico, los suelos se diferencian por posición, grado de pendiente, grado de diferenciación de horizontes, profundidad del perfil, intensidad de la erosión, pedregosidad en superficie y en el perfil, considerando los principales factores que han influido en el desarrollo e intensidad de la pedogénesis. Con el fin de sintetizar y hacer más comprensiva las características y la distribución de los suelos de esta Formación, se ha tomado la opción de agruparlos en dos categorías, considerando el grado de desarrollo del perfil.

Suelos delgados con escaso desarrollo sobre roca. Se trata de suelos esqueléticos que se ubican en laderas de cerros, con pedregosidad en superficie y frecuentes afloramientos rocosos, ocupando todas las posiciones del relieve. La profundidad del suelo no es mayor de 50 cm y se encuentra sobre roca fresca o con diferentes grados de meteorización o bien, sobre fragmentos de roca gruesos. Los perfiles son del tipo A-C (R); los colores generalmente se encuentran en el matiz 5YR y las clases texturales son gruesas, esto es arenosa o franco arenosa. El contenido de MO en el horizonte A no supera el 1%; el pH fluctúa entre 6,2 y 7,0; la CE es inferior a 1 dS m^{-1} y la SB es baja, generalmente inferior a 8%. En algunos suelos se han descrito horizontes de transición (A_2 , AC), de clases texturales más finas, tales como franco arenosa fina, pero que no alcanzan a evidenciar el desarrollo pedogénico de un horizonte B. Es posible que localmente y en algunos sectores, la limitada profundidad de los suelos esté relacionada con procesos erosivos antrópicos. Las Clases de Capacidad de Uso más frecuentes para estos suelos son IV y VI, tanto por profundidad como por pendiente. De acuerdo a sus características morfológicas, químicas y físicas se han clasificado como Torriorthents.

Suelos con horizonte B. El otro grupo de suelos que se encuentra en esta misma posición, corresponde a suelos con horizontes cámbico o argílico. Se encuentran en pendientes que fluctúan entre 6 y 12%, con afloramientos rocosos y pedregosidad superficial comunes y evidencias de erosión ligera. Si bien se considera que estos suelos derivan de la meteorización de la roca granítica, a causa de los perfiles completos que se han podido describir no se pueden descartar las influencias coluviales y de sedimentación marinas, que se hacen evidentes en situaciones puntuales del sector litoral.

La clase textural del horizonte A puede variar entre franco arenosa a franco arcillo arenosa y los colores se mantienen en el matiz 7.5YR. Los horizontes B_w o B_t tienen clases texturales más finas, franco arcillosa a arcillosa. El matiz varía entre 7.5YR hasta 5YR, con estructura bien desarrollada de bloques subangulares fuertes o bien prismas fuertes. El contenido de MO alcanza hasta 2% en el horizonte superficial y 0,3% en el horizonte inmediatamente superior a C, aunque el decrecimiento en profundidad no siempre se produce gradualmente. El pH varía entre 6,1 y 7,7; la CIC, en los horizontes superficiales es baja, esto es entre 5,2 y 10,1 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; sin embargo se eleva considerablemente en los horizontes diagnósticos subsuperficiales, particularmente si se trata de horizontes argílicos, alcanzando hasta 26 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Esta característica estaría evidenciando que la capacidad de intercambio en estos suelos de regiones áridas, es más dependiente de la fracción arcilla que del contenido de MO. El complejo de intercambio se encuentra dominado por Mg^{++} y no por Ca^{++} , como ocurre generalmente en los suelos de la zona central del país. Aun cuando se trata de suelos no salinos, la CE puede alcanzar hasta $2,0 \text{ dS m}^{-1}$. Los suelos con horizonte cámbico se han clasificado como Camborthids y aquellos con horizonte argílico como Paleargids. Existen muy pocos análisis físicos y químicos de los escasos perfiles de suelos que se han descrito. En el Cuadro 3-16, se describen algunos análisis de un perfil de la Serie Mincha (Typic Haplocambid).

Cuadro 3-16. Propiedades físicas y químicas de la Serie Mincha (CIREN, 2005a)

| Profundidad (cm) | | 0 – 8 | 8 – 28 | 28 – 50 | 50 – 70 |
|--|----|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | A₁ | B₁ | B₂ | B₃ |
| 2-0,05 | | 46,6 | 48,6 | 22,6 | 16,6 |
| 0,05-0,002 | | 36,0 | 34,0 | 14,0 | 14,0 |
| < 0,002 | | 17,4 | 17,4 | 63,4 | 69,4 |
| Clase Textural | | F | F | A | A |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 1,43 | 1,40 | 1,51 | 1,54 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 11,00 | 11,00 | 32,50 | 36,40 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | | 8,25 | 6,43 | 22,50 | 24,70 |
| Carbono orgánico (%) | | 0,79 | 0,52 | 0,42 | - |
| pH _{agua} | | 7,8 | 7,0 | 6,6 | 6,4 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | | 0,33 | 0,31 | 1,17 | 1,98 |
| CaCO ₃ equivalente (%) | | 0,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Iones solubles Extracto de saturación (mmol _c L ⁻¹) | Ca | 1,39 | 1,31 | 1,25 | 1,28 |
| | Mg | 0,77 | 0,70 | 0,75 | 1,12 |
| | K | 0,37 | 0,24 | 0,31 | 0,40 |
| | Na | 3,63 | 2,66 | 10,10 | 12,80 |
| HCO ₃ (mmol _c L ⁻¹) | | 3,50 | 1,75 | 0,50 | 0,25 |
| Cl (mmol _c L ⁻¹) | | 1,96 | 2,59 | 9,45 | 13,30 |
| SO ₄ (mmol _c L ⁻¹) | | 1,12 | 1,06 | 3,41 | 10,50 |
| RAS | | 3,49 | 2,65 | 10,10 | 11,68 |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 3,70 | 3,20 | 7,10 | 8,70 |
| | Mg | 1,70 | 1,60 | 8,90 | 9,00 |
| | K | 0,78 | 0,66 | 1,54 | 1,94 |
| | Na | 0,25 | 0,23 | 3,23 | 4,48 |
| CIC (pH 7,0) (cmol _c kg ⁻¹) | | 9,24 | 8,73 | 24,60 | 23,90 |

Datos proporcionados por Fernández (2004) para un suelo ubicado en el Parque Nacional Fray Jorge, en el interior de las alturas de Talinay (entre 30° 34' S; 71°06' O y 31° 30' S; 71° 11' O), señalan que el pH es bajo, el contenido de MO es elevado y la relación C/N es elevada, lo que implica una dinámica de incorporación lenta.

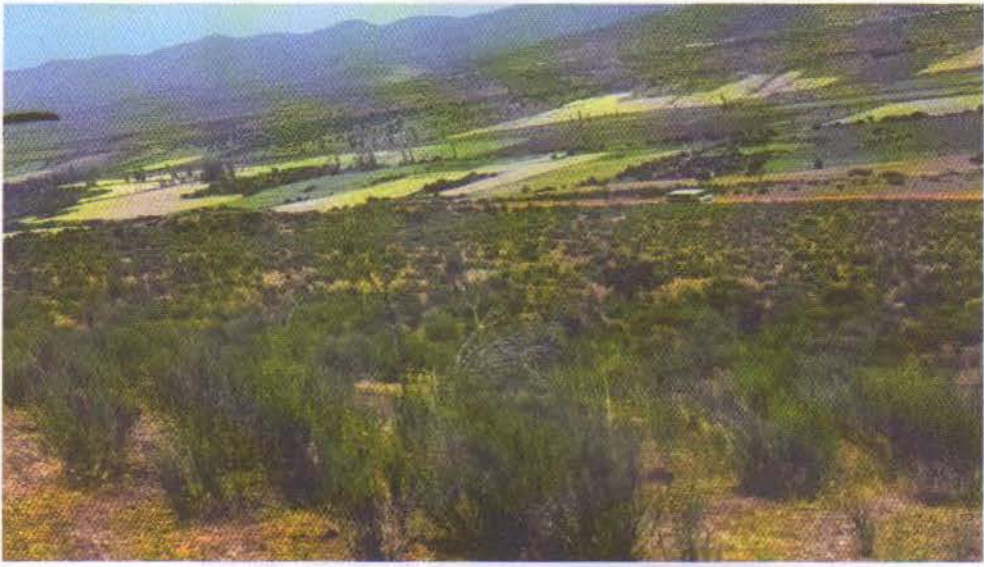


Figura 3-3. Paisaje con relieve moderado a ligeramente ondulado en las zonas interiores. Los suelos desarrollados a partir de granito tienen una profundidad que varía entre 60 y 130 cm hasta la roca, característica que está asociada principalmente a la intensidad de los procesos de erosión que, en este sector, son de moderados a severos.



Figura 3-4. Perfil que caracteriza a algunos de los suelos de las zonas interiores desarrollados a partir de granito. Aun cuando existe un incremento en el contenido de arcilla hacia los horizontes subsuperficiales, este incremento estaría asociado a procesos pedogénicos de alteración sin iluviación, a causa de la ausencia de rasgos de translocación de arcillas (cutanes); por lo tanto, todos los suelos descritos en estas situaciones presentan un horizonte cámbico (B_w).



Figura 3-5. Perfil de la Serie Pintacura. Llama la atención el matiz del suelo, que varía desde 5YR hasta 10R, es decir, desde el pardo rojizo oscuro hasta el rojo oscuro. Este rasgo morfológico constituye una característica relevante, que señala al menos una importante segregación de óxidos de Fe, por lo tanto, la existencia de procesos pedogénicos intensos a partir de la meteorización de los materiales parentales.

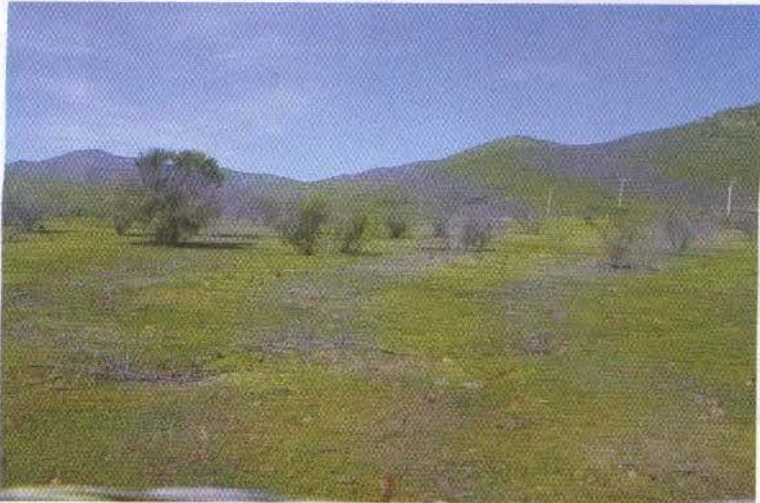


Figura 3-6. Paisaje de la Serie Pintacura. El relieve es suavemente ondulado en posición de piedmont o de tipo aluvio-coluvial, con pendientes que pueden variar desde ligeramente ondulada (2 - 5%) hasta moderadamente ondulada (8 - 15%).

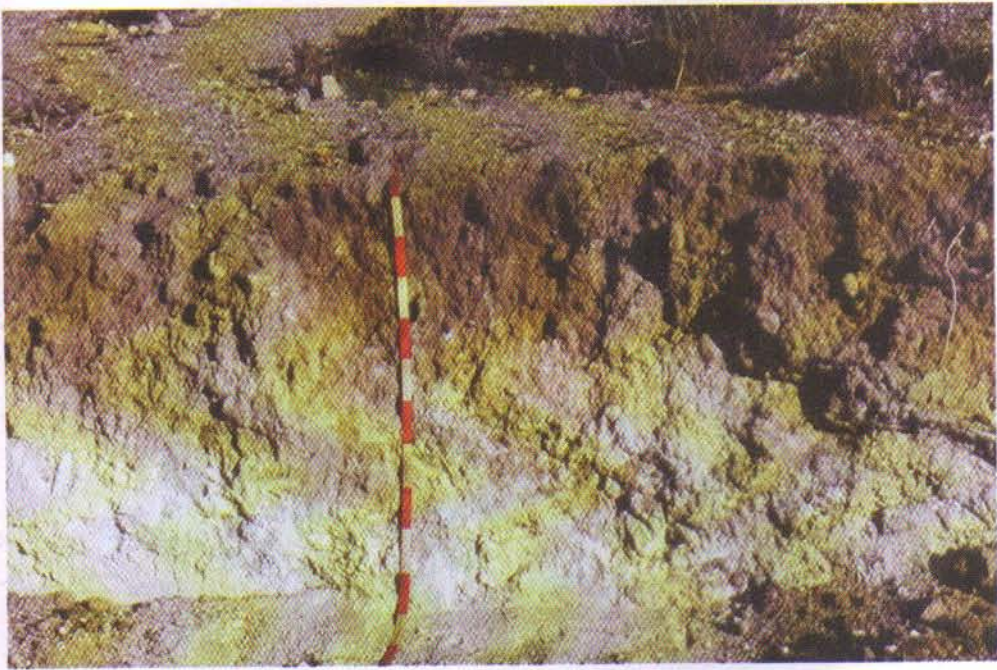


Figura 3-7. Perfil de un suelo desarrollado a partir de roca caliza en las áreas próximas a Punitaqui, que ocupan posiciones onduladas y de lomajes. Su distribución aparece como bastante localizada y, en las prospecciones realizadas, no se han descrito en otros sectores del interior.

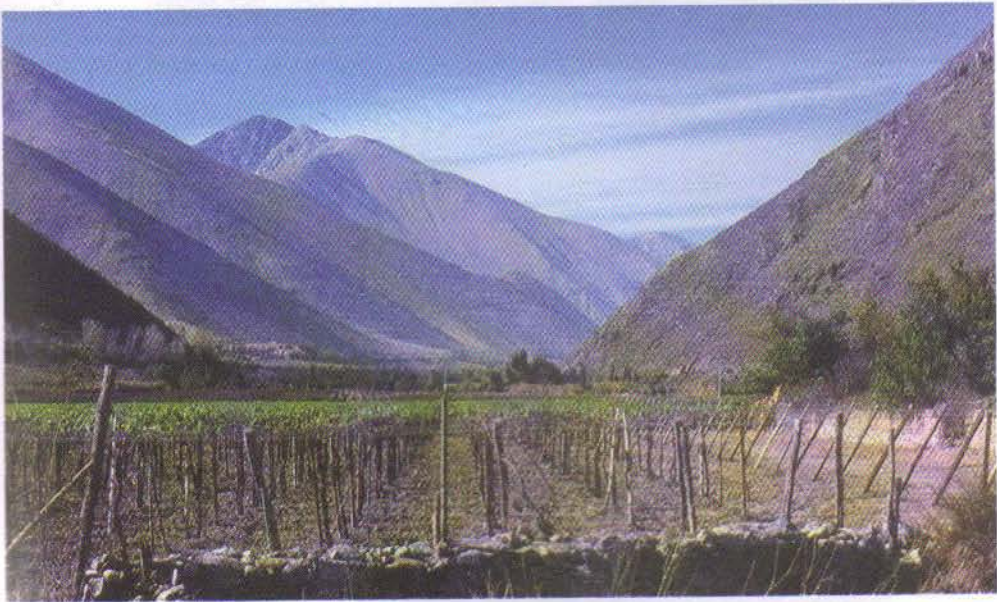


Figura 3-8. Paisaje del Valle del río Elqui en los sectores más altos del valle. Se puede apreciar que el relieve es muy escarpado con fuertes gradientes. Las montañas superan los 3.500 msnm y son frecuentes las cimas superiores a 5.000 msnm. La cadena montañosa está cortada por valles profundos, y las pendientes son muy pronunciadas. Los suelos aluviales planos o casi planos del fondo del Valle son intensamente utilizados en agricultura.



Figura 3-9. Suelo San Julián en la Viña Tabalí (Sodic Haplotorrert). Se trata de un suelo sedimentario desarrollado en una terraza del río Limarí. (Foto T. Reinsch)



Figura 3-10. Paisaje del suelo San Julián en Tabalí.



Figura 3-11. Serie Quelén. Los suelos de esta Serie se ubican en posición de terraza aluvial, tienen topografía plana, o bien sólo en algunos casos, presentan pendientes de 2 a 5%. El sustrato común a todos ellos lo constituye una mezcla de gravas redondeadas con arena y grava fina como material intersticial en porcentajes variables.

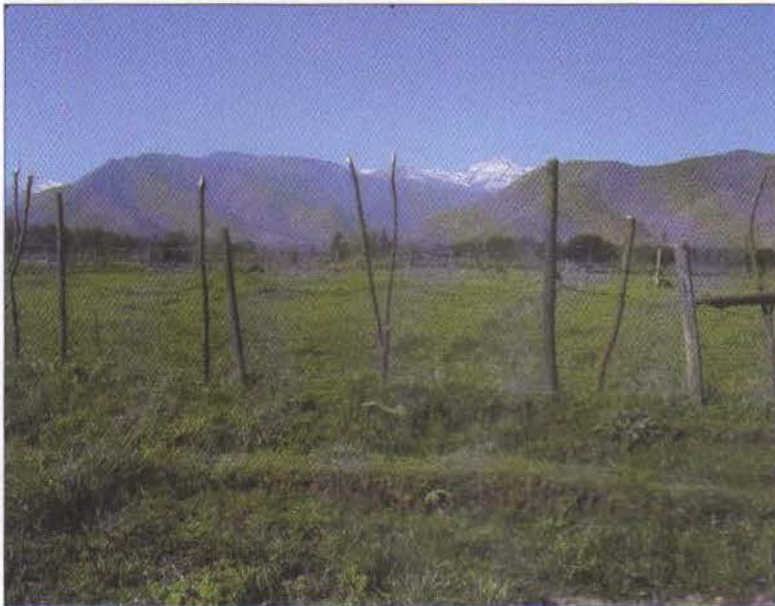


Figura 3-12. Paisaje de la Serie Quelén.



Figura 3-13. Serie Tahuinco. Suelos derivados de materiales graníticos en posición de coluvios y de piedmonts. Sus pendientes son variables: 1-3% y 2-5% en las condiciones más planas y de 15-20% y 20-30% las más escarpadas. La característica común es que el sustrato de todos ellos está constituido por granito con diferentes grados de meteorización o bien por arena granítica (del tipo *maicillo*).



Figura 3-15. Sucesión de niveles de terrazas marinas en la Región de Coquimbo.

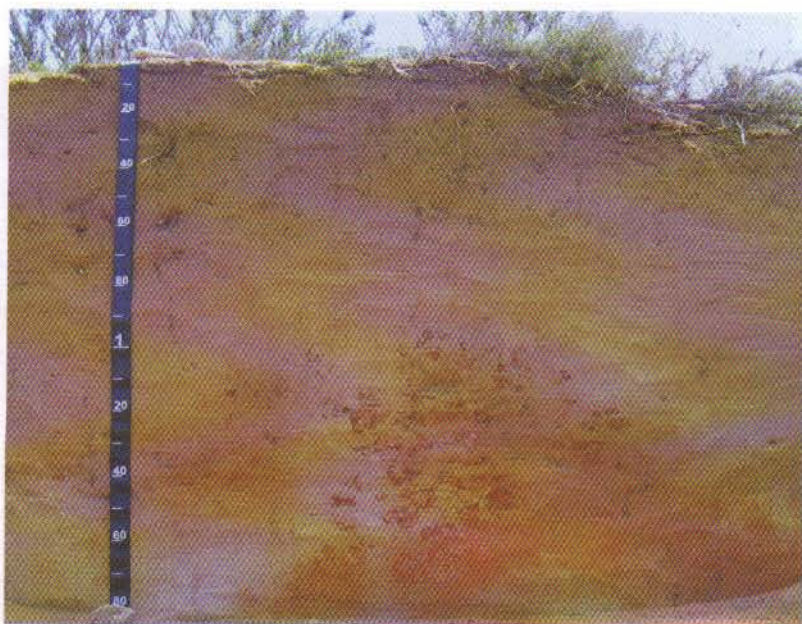


Figura 3-16. En las terrazas bajas e intermedias, particularmente en las cercanías de la ciudad de Los Vilos y hacia el norte de ella (entre $30^{\circ}00'$ y $31^{\circ}45'$), y en sectores próximos a la ciudad de La Serena, se encuentran dunas estabilizadas que han dado origen a suelos de muy escaso desarrollo (Torripsamment). (Foto T. Reinsch)

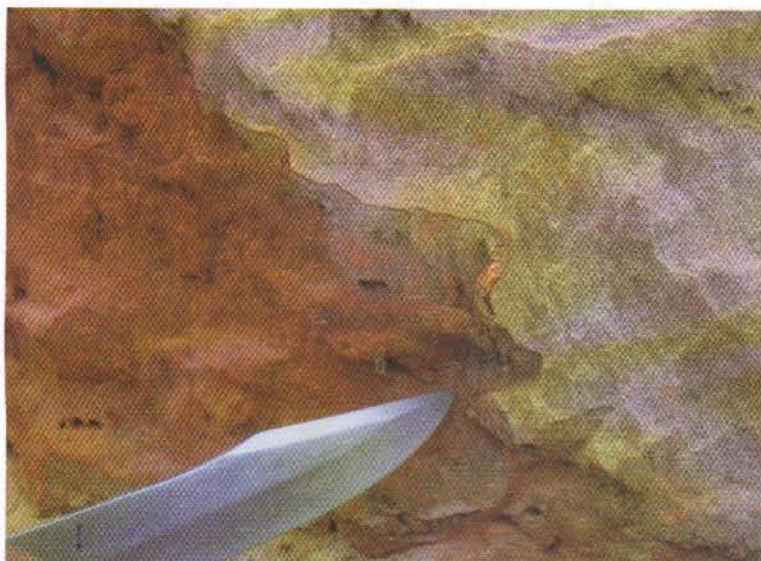


Figura 3-17. Detalle de los rasgos redoximórficos del perfil anterior en la forma de nódulos de Fe y láminas delgadas de Fe, cuya presencia sugiere un régimen más húmedo que el actual. También es probable que estos suelos hayan ocupado una posición deprimida en el paisaje y que se encuentren, en la actualidad, en posiciones más altas a causa de actividad tectónica. (Foto T. Reinsch)



Figura 3-18. Suelos desarrollados sobre un horizonte petrocálcico de naturaleza pedogénica en los alrededores de la bahía de Tongoy, clasificado como Natric Petrocalcid.

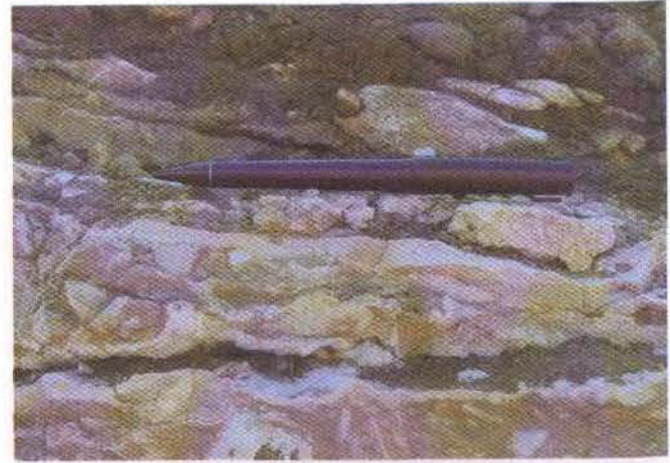


Figura 3-19. El horizonte petrocálcico está formado por una sucesión de capas laminares en su parte superior. (Foto T. Reinsch)

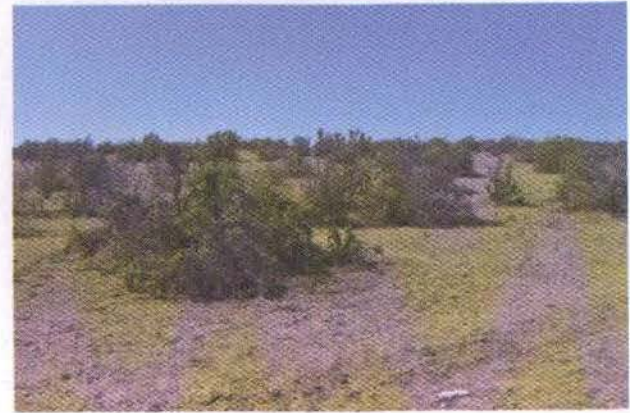


Figura 3-20. Paisaje del Suelo desarrollado sobre un horizonte petrocálcico en los alrededores de la bahía de Tongoy, clasificado como Natric Petrocalcid. (Foto T. Reinsch)

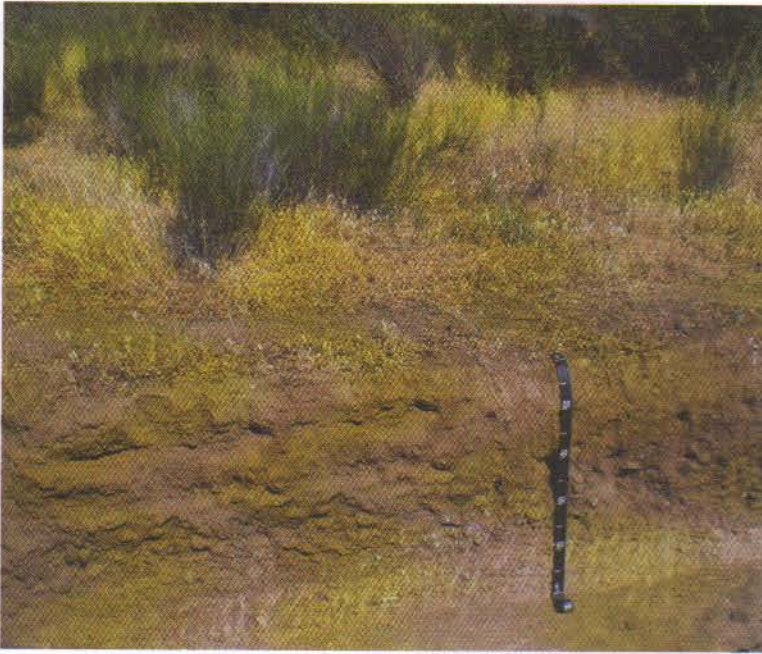


Figura 3-21. En sectores como el denominado *Las Cardas* entre la Serena y Ovalle se encuentran suelos sobre un duripán, sustrato compactado y cementado con sílice y manganeso. También se pueden encontrar suelos con carbonatos en el perfil y como panes endurecidos, aún cuando, más bien localizados. Ocupan la posición de terrazas y también de coluvios, con pendientes de 1 a 3%, 3 a 8% hasta 8 a 15%.

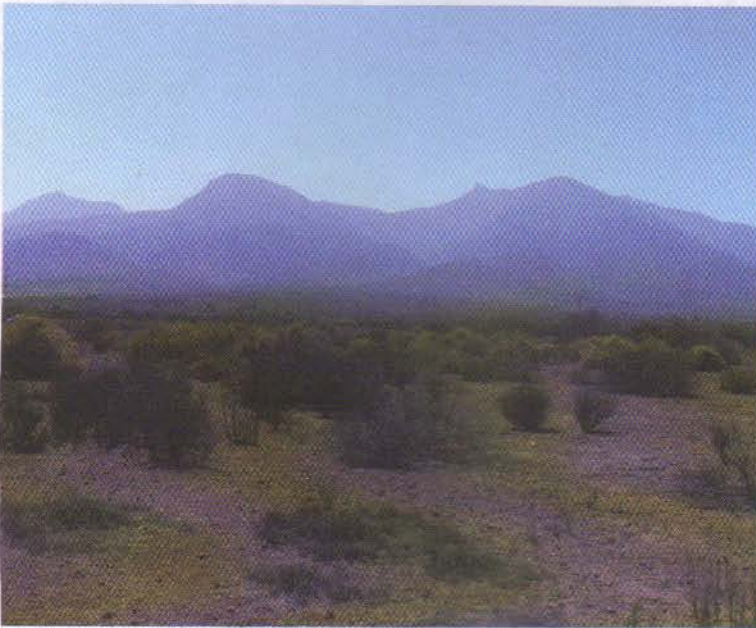


Figura 3-22. Paisaje del suelo descrito en *Las Cardas*. (Foto O. Spargaaren)



Figura 3-23. En las cercanías de Huentelauquén, con pendientes desde ligera (2 a 5%) a suavemente onduladas (5 a 8%) existen suelos con elevada sodicidad y horizontes nátricos. (Foto T. Reinsch)



Figura 3-24. Superficie de un Natrargid, en Huentelauquén, con evidencias de materia orgánica dispersa a causa de la elevada sodicidad.



Figura 3-25. Perfil del suelo ubicado en Huentelauquén y clasificado como Typic Natrargid. Suelo poligenético profundo, con sucesión de horizontes que evidencian procesos diferentes. Se pueden observar horizontes con estructura columnar y prismática. (Foto T. Reinsch)



Figura 3-26. Detalle que muestra la parte superior de las columnas en el suelo de Huentelauquén. (Foto T. Reinsch)

CAPÍTULO 4

Suelos de la Zona Mediterránea Árida (Desde 32°00'LS hasta 37°45'LS)



Luzio, W., Seguel, O., Casanova, M. 2009. Suelos de la Zona Mediterránea Árida (Desde 32°00' LS hasta 37°45'LS). pp: 125- 194. In: Suelos de Chile. (Luzio, W., Editor). Universidad de Chile.



4.1 Características generales de la Zona

Durante el Cuaternario quedó definido el relieve actual de la Zona, esto es, la presencia de una Depresión Intermedia, la Cordillera de Los Andes y la Cordillera de la Costa. Paralelamente, se generaron las planicies litorales y las terrazas marinas. Las glaciaciones terminaron de realizar la modelación del paisaje en algunos sectores más marcadamente que en otros. Los materiales acarreados desde la alta Cordillera de Los Andes, ya sea en la masa de hielo, en forma de lahares o bien como arrastres aluvionales, fueron depositados preferentemente en la Depresión Intermedia. Estos procesos disminuyeron la altura de las montañas al desgastarlas, formando amplios valles por donde escurrieron los actuales ríos. Al mismo tiempo, esos sedimentos conformaron el relleno de la Depresión Intermedia, dando origen a los materiales de partida para la mayor parte de los suelos de este sector.

La Cordillera de Los Andes constituye el límite natural de Chile en el sector oriental. En ella se pueden describir valles de altura cuyos rellenos están constituidos por abundantes sedimentos glaciales y/o volcánicos (Figura 4-1, al final del Capítulo). Particularmente estos últimos han tenido una amplia e intensa difusión durante el Terciario y el Cuaternario, manifestada a través de abundantes bloques, bombas y gruesas capas de cenizas volcánicas que constituyen el material parental de numerosos suelos. La Cordillera tiene un ancho promedio de 60 a 80 km y su mayor altura se encuentra al interior de Rancagua, con cumbres que sobrepasan los 5.500 msnm. Los suelos que se han podido desarrollar en esta gran Formación, presentan rasgos heredados de sus materiales parentales y con una evolución pedogénica muy limitada. Sin embargo, se puede plantear que la Cordillera de Los Andes ha tenido una considerable influencia en la formación de muchos suelos de la Depresión Intermedia, a causa de la inestabilidad de los sistemas montañosos y los consecuentes procesos erosivos y de arrastre de materiales que han formado el basamento de esta última.

La Depresión Intermedia, considerada una fosa tectónica (Graben) de dirección aproximada norte - sur, se encuentra flanqueada hacia el oriente por la Pre - Cordillera de Los Andes y hacia el poniente por los cerros de la Cordillera de la Costa. Presenta un relieve desde plano hasta moderadamente ondulado, con un ancho estimado entre 50 a 100 km. La Depresión Intermedia en esta Zona no constituye una unidad continua, sino que está formada por una serie de cuencas de origen tectónico de diferentes dimensiones, hidrografía, altura y características edáficas. Las cuencas están rellenas con sedimentos fluviales, glaciales, fluvio-glaciales y volcánicos, cuya potencia es desconocida en su mayoría. Además, es necesario tener presente que esta Depresión se encuentra surcada por numerosos y frecuentes cursos de aguas de dirección preferente este - oeste que han construido valles de gran importancia edáfica y consecuentemente agrícola. Esta característica se observa más marcadamente en el sector norte de la Zona, esto es desde la ciudad de Chillán hasta la cuenca de Santiago. La altura promedio de esta Depresión es de 400 msnm. Esta Depresión está rellena con más de 500 m de depósitos fluviales, aluviales, fluvio-glaciales y glaciales (Araneda *et al.*, 2000).

La Cordillera de la Costa tiene un ancho variable de unos 40 a 60 km, con alturas máximas de 2.000 m frente a Santiago y Rancagua. A partir de estas cimas y en dirección hacia el sur, comienza a perder altura, en particular, al sur de la hoya del río Rapel, donde se deprime bruscamente, alcanzando alturas inferiores a los 1.000 msnm. El Basamento Cristalino Precámbrico (600 millones de años) se puede observar en algunos afloramientos de ella, en su mayor parte expuestos, a causa de los intensos y profundos fenómenos de erosión que ha sufrido

y el consecuente arrastre de la cubierta meteorizada. El macizo costero es atravesado por los grandes ríos de origen andino que desembocan en el Océano Pacífico, sin originar condiciones deltaicas, principalmente a causa del gran desnivel entre el continente y el océano.

Las Planicies Costeras constituyen una Formación discontinua que, en muchos sectores, se confunde con la Cordillera de la Costa. Localmente estas Planicies se identifican como terrazas ubicadas en diferentes cotas, desde aproximadamente 4 a 34 msnm, y se caracterizan por superficies planas con un relieve poco pronunciado. La costa propiamente tal, se caracteriza por presentar extensas playas de arena que se alternan con acantilados rocosos. Normalmente estas playas se encuentran al norte de la desembocadura de los grandes ríos, a causa de la dirección sur – norte de las corrientes litorales.

En la Figura 4-2 se muestra una aproximación de lo que significa un corte transversal oriente – poniente a la altura de la Región Metropolitana (Lavenu y Cembrano, 2008).

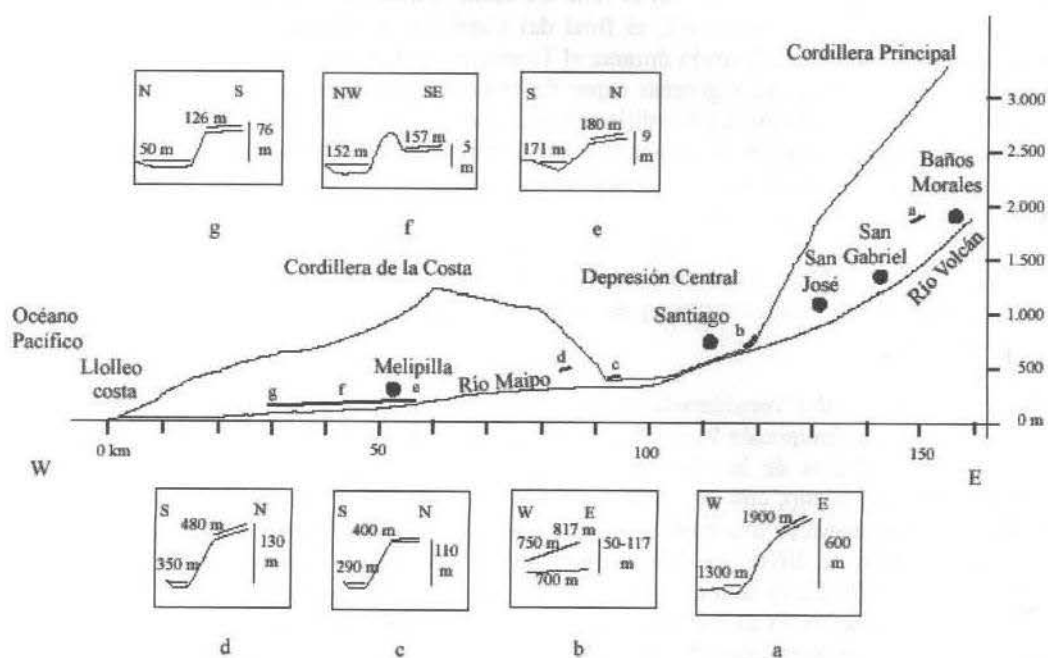


Figura 4-2. Perfil de los ríos Volcán y Maipo y ubicación de los afloramientos de la superficie de las tobas y de la Ignimbrita Pudahuel. En los marcos 'a'-'g' se indica la altura de las tobas en relación con el lecho de los ríos con línea de trazos (Lavenu y Cembrano, 2008).

4.2 Suelos de los sectores cordilleranos

Este sector comprende las áreas de la Cordillera de Los Andes en las zonas ubicadas entre el límite de las nieves eternas y la línea de la vegetación de altura. En ellas, hay localidades altoandinas, que muestran la concentración típica de las lluvias en invierno; otras presentan lluvias irregularmente repartidas durante el año, e incluso dos máximas, en invierno y en verano. Sin embargo, la escasez de datos de precipitación (sólida y líquida) y de temperatura de los suelos

impide alguna aproximación para establecer sus regímenes de humedad y de temperatura. La fisonomía vegetal es semejante a la de estepas de gramíneas del tipo pajonal, tales como *Stipa sp* y *Festuca sp*.

No existen reconocimientos de suelos de estas áreas, por lo cual sólo se pueden establecer algunas generalizaciones provenientes de observaciones puntuales, pero que permiten formarse una idea aproximada de los suelos de estos sectores. En todo caso, los procesos pedogénicos no han tenido la intensidad suficiente para dar origen a suelos con una clara diferenciación de horizontes. La mayoría son suelos esqueléticos, con abundante pedregosidad en el perfil, de tipo angular. La granulometría está dominada por la fracción arena, cuyo origen se encuentra en rocas andesíticas y basálticas. Todas estas áreas debieran considerarse con una Clase VIII de Capacidad de Uso, esto es de preservación, sin intervención. La mejor aproximación taxonómica para estos suelos es que se les puede considerar como Entisols.

4.3 Suelos de los sectores de la pre-cordillera de Los Andes

Corresponde a áreas ubicadas en los primeros cordones de la Cordillera de Los Andes y algunos cerros que se extienden, como prolongaciones de ella, hacia la Depresión Intermedia. En estas áreas dominan dos posiciones geomorfológicas en las que se han desarrollado suelos característicos: a) los cerros, piedmonts y planos aluvio-coluviales y b) las terrazas aluviales más o menos planas, asociadas a los valles de los ríos que bajan desde la Cordillera.

4.3.1 Regiones de Valparaíso y Metropolitana (32°00' – 34°00' aprox.)

Los suelos en posición de cerros, piedmonts y planos aluvio-coluviales presentan un desarrollo pedogénico interesante, pues la mayoría de ellos ha evolucionado hasta la formación de horizontes diagnósticos subsuperficiales (B) y epipedones mólicos. Dominan las pendientes de 2 a 5% y de 8 a 15%, sin embargo en los sectores de lomajes y cerros son frecuentes las pendientes de 15 a 20% y de más de 30%. El sustrato está constituido por rocas del tipo andesitas y dioritas ya sea constituyendo masas más o menos continuas, o bien en forma de fragmentos, principalmente angulares. La profundidad del *solum* generalmente es superior a 1 m y sólo en algunos casos es ligeramente profundo (menos de 50 cm). La clase textural del horizonte superficial varía desde franca a franco arcillo limosa y en los horizontes más profundos va desde franco arcillo limosa hasta franco arcillosa. El contenido de CO en el epipedón varía entre 1,6 y 2,1%, lo cual es más bien bajo, pero suficiente para cumplir, conjuntamente con las demás propiedades, con los requerimientos de un epipedón mólico. Los colores se mantienen en el matiz 10YR, entre el pardo y pardo oscuro. Desde el punto de vista de uso y manejo, éstos pueden ser muy variables. Las Fases más profundas y que se encuentra en las pendientes menores, tienen Clase de Capacidad de Uso I y II, en cambio aquellas Fases con menos de 50 cm de profundidad y en pendientes superiores a 30%, han sido calificadas en Clases VI y VII. Taxonómicamente, los suelos han sido clasificados en el Gran Grupo Haploxeroll. El análisis de este grupo de suelos ha tenido que basarse en los escasos ejemplos que se pueden asimilar a esta categoría, pues en la mayor parte de los reconocimientos agrológicos, estos suelos han quedado fuera de estudio. Para esta discusión se han utilizado las Series Huingán, Los Cardenales y la Asociación Challay. En el Cuadro 4-1 se presentan algunas propiedades físicas y químicas de la Serie Huingán (Fluventic Haploxeroll) que se encuentra en posición de piedmonts y planos depositacionales profundos.

Cuadro 4-1. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de la Serie Huingán (CIREN, 1996a)

| Profundidad (cm) | 0 - 28 | 28 - 58 | 58 - 91 | 91 - 122 |
|--|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Distribución partículas por tamaño (%) | A ₁ | B ₂₁ | B ₂₂ | B ₃ |
| 2-1 | 0,1 | 4,0 | 0,9 | 3,2 |
| 1-0,5 | 3,6 | 14,1 | 11,0 | 8,4 |
| 0,5-0,25 | 7,0 | 11,0 | 12,1 | 6,4 |
| 0,25-0,10 | 12,6 | 11,4 | 10,6 | 9,2 |
| 0,10-0,05 | 14,7 | 15,9 | 9,9 | 24,6 |
| 2-0,05 | 38,0 | 57,4 | 44,5 | 51,8 |
| 0,05-0,002 | 40,1 | 30,1 | 38,9 | 37,3 |
| < 0,002 | 21,9 | 12,5 | 16,6 | 10,9 |
| Clase textural | F | Fa | F | F |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 26,0 | 15,0 | 20,0 | 15,0 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 13,0 | 8,0 | 10,0 | 7,0 |
| Carbono orgánico (%) | 1,6 | 0,4 | 0,8 | 0,2 |
| pH _{agua} | 7,9 | 7,5 | 7,5 | 7,6 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 1,0 | 0,7 | 0,9 | 0,8 |
| Ca | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | | | | |
| Mg | - | - | - | - |
| K | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Na | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,7 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 15,0 | 11,2 | 13,3 | 13,1 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 15,8 | 12,8 | 14,9 | 14,3 |
| Saturación de bases (%) | 95,0 | 88,0 | 89,0 | 92,0 |

Los suelos en posición de terrazas aluviales, aun cuando ocupan superficies limitadas, son profundos (> 120 cm) con topografía plana o casi plana (1 a 3%), constituidos por sedimentos aluviales de granulometría media y gruesa, en algunos casos mezclados con materiales de origen volcánico. La clase textural superficial es franca y en profundidad es franco arenosa fina; el sustrato está constituido por arena gruesa. La penetración radical alcanza los horizontes más profundos y las raíces finas pueden ser comunes a los 100 cm de profundidad. Los colores se mantienen en los matices 10YR y 7.5YR. El contenido de CO no supera 1,6% en el epipedón; el pH es superior a 7,7 y, en algunos suelos, la CE puede alcanzar 1,4 dS m⁻¹. Si bien la CIC puede ser baja, las condiciones climáticas favorecen la alta SB. Son suelos con ninguna, o bien escasas limitaciones de uso, razón por la cual se les ha ubicado en Clases I y II de Capacidad de Uso. En el Cuadro 4-2 se presentan algunas propiedades físicas y químicas de la Serie Estero Seco (Ultic Haploxeroll), considerada como representativa de este grupo.

Cuadro 4-2. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de la Serie Estero Seco (CIREN, 1996a)

| Profundidad (cm) | 0 - 36 | 36 - 56 | 56 - 125 | 125 y + |
|--|----------------|----------------|----------------|---------|
| Distribución partículas por tamaño (%) | A ₁ | B ₁ | B ₂ | 2C |
| 2-1 | 0,8 | 1,8 | 1,6 | 5,6 |
| 1-0,5 | 6,4 | 7,9 | 8,0 | 4,1 |
| 0,5-0,25 | 6,2 | 11,4 | 11,1 | 32,8 |
| 0,25-0,10 | 9,4 | 15,6 | 19,6 | 17,2 |
| 0,10-0,05 | 10,2 | 12,4 | 19,6 | 12,5 |
| 2-0,05 | 32,0 | 49,1 | 59,9 | 72,2 |
| 0,05-0,002 | 47,1 | 34,9 | 28,8 | 22,6 |
| < 0,002 | 20,9 | 16,0 | 11,3 | 5,2 |
| Clase textural | F | Fa | Fa | Fa |
| Agua retenida 33 kPa. (%) | 22,0 | 15,0 | 11,0 | 9,0 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 11,0 | 10,0 | 7,0 | 5,0 |
| Carbono orgánico (%) | 1,6 | 0,9 | 0,4 | 0,2 |
| pH _{agua} | 7,9 | 7,6 | 7,5 | 7,7 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 1,4 | 1,4 | 0,9 | 0,5 |
| Ca | 1,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | Mg | 1,3 | 1,0 | 0,7 |
| | K | 0,3 | 0,3 | 0,2 |
| | Na | 0,5 | 0,4 | 0,3 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 12,0 | 9,5 | 8,4 | 5,9 |
| Saturación de bases % | 93,0 | 74,0 | 80,0 | 80,0 |

4.3.2 Regiones de O'Higgins y Maule (34°00' - 36°00' aprox.)

Los suelos que se encuentran en posición de cerros, con pendientes de 15 a 20% y de 30 a 50%, son generalmente delgados a ligeramente profundos (entre 40 y 60 cm de profundidad) sobre rocas frescas del tipo dioritas o andesitas. Las clases texturales pueden ser muy variadas, desde franco arenosa hasta franco arcillo limosa en superficie, y desde franca con gravas hasta franco arcillosa en profundidad. El contenido de CO en el horizonte superficial puede fluctuar entre 1,5 y 3,0%, cantidad suficiente para un epipedón mólico, como efectivamente se presenta en varios suelos que, además, mantienen una SB elevada a través del perfil, por lo cual han sido clasificados como Haploxerolls. Los colores se encuentran en el matiz 10YR, pero con valor y croma alto (6/3 - 6/4). El arraigamiento disminuye gradualmente hacia los horizontes más profundos, hasta encontrar raíces finas y medias escasas u ocasionales en el contacto con el sustrato. En algunos suelos los procesos de iluviación han sido lo suficientemente intensos como para alcanzar a desarrollar horizontes argílicos. La utilización de estos suelos está restringida a pastos naturales y, sólo en algunos casos, para forestales. Se les ha considerado como suelos de Clases VI y VII de Capacidad de Uso. En el Cuadro 4-3 se presentan algunas propiedades físicas y químicas de un perfil considerado representativo de la Asociación Challay (Lithic Haploxeroll).

Cuadro 4-3. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil de la Asociación Challay (CIREN, 1996b)

| Profundidad (cm) | 0 - 16 | 16 - 42 | |
|--|----------------------|----------------------|-------|
| Distribución partículas por tamaño (%) | A₁ | B₂ | |
| 2-1 | 4,20 | 3,80 | |
| 1-0,5 | 9,10 | 8,00 | |
| 0,5-0,25 | 10,40 | 8,10 | |
| 0,25-0,10 | 10,50 | 8,50 | |
| 0,10-0,05 | 9,50 | 7,90 | |
| 2-0,05 | 43,70 | 36,30 | |
| 0,05-0,002 | 38,10 | 37,40 | |
| < 0,002 | 18,10 | 26,30 | |
| Clase textural | F | F | |
| Carbono orgánico (%) | 1,79 | 0,77 | |
| pH _{agua} | 5,68 | 5,76 | |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 8,62 | 17,47 |
| | Mg | 1,46 | 3,22 |
| | K | 0,17 | 0,11 |
| | Na | 0,15 | 0,37 |
| | Al | 0,46 | 0,79 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 10,40 | 21,17 | |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 16,17 | 22,68 | |
| Saturación de bases (%) | 64 | 93 | |
| Saturación de Na (%) | 0,9 | 1,6 | |

Un segundo grupo de suelos se presenta en posición de piedmonts y coluvios con pendientes inferiores a los del grupo anterior, de 3 a 5% y de 8 a 15%. Son suelos moderadamente profundos a profundos sobre un sustrato de gravas angulares con matriz arcillosa. Los colores son bastante uniformes dentro de los matices 10YR y 7.5YR, haciéndose más rojizos hacia los horizontes más profundos; la arcilla siempre se incrementa hacia los horizontes inferiores hasta franco arcillo limosa o bien arcillosa. El contenido de CO puede variar mucho, desde 0,8 hasta 6,3%, en particular en los epipedones. Algunos suelos han tenido un desarrollo pedogénico suficiente para la formación de un horizonte argílico, con claros rasgos de iluviación, además de un considerable incremento de arcilla hacia los horizontes subsuperficiales. A causa de su relieve la mayoría de las Fases presenta buen drenaje. La mayoría de los suelos de este grupo presenta mejor aptitud de uso que los del grupo anterior. La mayoría de las Fases se ha ubicado en Clases II y III de Capacidad de Uso y solamente aquellas con las pendientes más fuertes, en Clase IV. En el Cuadro 4-4 se presentan algunas propiedades físicas y químicas de la Serie Huecán (Ultic Haploxeroll), considerada como representativa de este grupo.

Cuadro 4-4. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de la Serie Huecán (CIREN, 1997b)

| Profundidad (cm) | | 0 – 15 | 15 – 60 | 60 – 95 |
|--|----|----------------|----------------|----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | A ₁ | B ₁ | B ₂ |
| 2-0,05 | | 48,2 | 52,0 | 44,0 |
| 0,05-0,002 | | 30,6 | 28,7 | 34,2 |
| < 0,002 | | 21,2 | 19,3 | 21,8 |
| Clase textural | | F | F | F |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 30,0 | 30,0 | 33,0 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | | 17,0 | 16,0 | 19,0 |
| pH _{agua} | | 6,3 | 6,3 | 7,0 |
| Carbono orgánico (%) | | 1,2 | 0,6 | 0,2 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 16,8 | 20,0 | 26,1 |
| | Mg | 3,0 | 3,6 | 5,0 |
| | Na | 0,4 | 0,5 | 0,8 |
| | K | 0,4 | 0,2 | 0,1 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | | 20,6 | 24,3 | 32,0 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | | 29,1 | 32,4 | 39,4 |
| Saturación de bases (%) | | 71,0 | 75,0 | 81,0 |

Otros suelos que ocupan terrazas altas y lomajes suaves en la precordillera, son derivados de cenizas volcánicas holocénicas cuyas propiedades químicas y físico-químicas son particularmente uniformes. Las pendientes que dominan son de 1 a 3% y de 2 a 5%, pero pueden alcanzar valores de 8 a 15% localmente. Los suelos son profundos o muy profundos (≥ 120 cm) y solamente en algunos casos puede presentarse un sustrato de gravas angulares y redondeadas a menos de un metro de profundidad. Los horizontes superficiales presentan color pardo oscuro o negro (en el matiz 10YR) y hacia los horizontes más profundos el matiz se hace más rojizo (7.5YR y 5YR), en tanto el matiz y el croma se hacen más fuertes (4/6 – 5/6). La clase textural varía desde franca a franco limosa, manteniendo una gran uniformidad entre los suelos y dentro de cada perfil. Se trata de suelos bien estructurados, con buena penetración radical, con un elevado contenido de CO en los epipedones (sobre 5%), un pH entre 6,0 y 6,5 y una SB inferior a 50% en todos los perfiles. Sus propiedades físicas sumadas a un buen drenaje, hacen que estos suelos muestren excelente aptitud agrícola, que se refleja en que la mayoría de las Fases de las diferentes Series descritas haya sido calificadas en Clases I, II y III de Capacidad de Uso.

Estudios recientes (Stolpe *et al.*, 2008) han dejado en evidencia que algunos de estos suelos derivados de cenizas volcánicas, tal como el suelo Bramadero, ha tenido una evolución de tal magnitud que ya no se puede considerar como un Andisol. Esto se debe a que la densidad aparente (Db) de la mayoría de los horizontes se encuentra entre 0,95 y 1,17 Mg m⁻³, siendo el límite de 0,9 Mg m⁻³, y porque su mineralogía (fracción < 0,002 mm) está dominada por haloisita, mineral resultante de la desilicificación de alófana e imogolita (Tan, 2000). Aun cuando el contenido de $[Al_{ox} + \frac{1}{2}Fe_{ox}]$ se mantiene sobre 2% hasta los 90 cm de profundidad, no es suficiente para que el suelo califique como un Andisol (Figura 4-3, al final del Capítulo). Las principales Series descritas y que pertenecen a este grupo son Bramadero, Radal y Los Queñes. En el Cuadro 4-5 se presentan algunas propiedades físicas y químicas de la Serie Bramadero (Andic Haploxeroll).

Cuadro 4-5. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de la Serie Bramadero (CIREN, 1997b)

| Profundidad (cm) | 0 - 17 | 17 - 48 | 48 - 82 | 82 - 120 |
|---|----------------|----------------|---------|----------|
| Distribución partículas por tamaño (%) | A _p | A ₂ | AB | B |
| 2-1 | 0,7 | 1,4 | 0,8 | 0,4 |
| 1-0,5 | 5,1 | 6,7 | 4,4 | 4,2 |
| 0,5-0,25 | 11,2 | 13,3 | 10,6 | 11,4 |
| 0,25-0,10 | 13,3 | 15,7 | 14,7 | 15,9 |
| 0,10-0,05 | 10,5 | 11,1 | 11,1 | 10,4 |
| 2-0,05 | 40,8 | 48,2 | 41,6 | 42,3 |
| 0,05-0,002 | 34,5 | 29,5 | 36,9 | 32,3 |
| < 0,002 | 24,7 | 22,3 | 21,5 | 25,4 |
| Clase textural | F | F | F | F |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 35,0 | 35,0 | 34,0 | 46,0 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 18,0 | 17,0 | 20,0 | 30,0 |
| Carbono orgánico (%) | 5,2 | 3,1 | 1,9 | 1,1 |
| pH _{agua} | 6,0 | 6,2 | 6,1 | 6,0 |
| Ca | 10,2 | 7,9 | 5,4 | -- |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) Mg | 1,1 | 1,2 | 2,0 | -- |
| K | 1,5 | 1,2 | 1,0 | -- |
| Na | 0,1 | 0,1 | 0,3 | -- |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 12,8 | 10,4 | 8,6 | -- |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 31,1 | 25,8 | 28,0 | -- |
| Saturación de bases (%) | 41,0 | 40,0 | 31,0 | -- |
| Retención de P (%) | 90,0 | 92,0 | 93,0 | 85,0 |
| Al ox (%) | 1,52 | 2,19 | 2,42 | -- |
| Fe ox (%) | 0,43 | 0,52 | 0,45 | -- |
| Al ox + 1/2 Fe ox (%) | 1,73 | 2,45 | 2,65 | -- |
| Vidrios (fracción 0,02-2 mm) (%) | 87,1 | -- | 91,2 | -- |

Los suelos más recientes, desarrollados a partir de sedimentos aluviales medios y finos, ocupan una posición de terrazas planas o casi planas, con 1 a 3% de pendiente y con sustratos muy variados: brecha volcánica, arenisca y gravas redondeadas y subredondeadas. Se trata de suelos planos o casi planos que, solamente en algunos sectores, pueden alcanzar un relieve suavemente ondulado (5 a 8%). El resto de las propiedades físicas y morfológicas presenta mayor dispersión, lo cual podría considerarse como normal debido a la dinámica de los procesos que han dado origen a los materiales de partida de estos suelos. De esta manera, las clases texturales pueden variar desde franco arenosa fina hasta arcillosa en los diferentes horizontes; los colores se encuentran en los matices 5YR, 7.5YR y 10YR; el espesor de los suelos varía desde profundo a delgado; el drenaje es de bueno a imperfecto, por lo tanto también sus aptitudes agrícolas son muy variadas, de manera que se pueden diferenciar Clases II, III y IV de Capacidad de Uso, en función de la severidad de las limitantes señaladas. Si bien es cierto que sus propiedades y aptitudes pueden ser variables, se han considerado dentro de un mismo grupo a causa de la posición de terrazas aluviales en que se encuentran, lo que implica una segmentación importante

del paisaje y una diferenciación en el uso y el manejo de los suelos. Estas variabilidades en sus propiedades se reflejan también en la clasificación taxonómica de los suelos, de tal manera que ellos pueden pertenecer a los Órdenes Mollisol, Inceptisol y Alfisol.

Las principales Series de Suelos que responden a estas características son: Condell, Gualas, Las Trancas, Romeral y Coguil. En el Cuadro 4-6 se presentan algunas propiedades físicas y químicas de la Serie Romeral (Andic Dystroxept).

Cuadro 4-6. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de la Serie Romeral (CIREN, 1997b)

| Profundidad (cm) | 0 - 22 | 22 - 38 |
|--|----------------|----------------|
| Distribución partículas por tamaño (%) | A ₁ | B ₁ |
| 2-1 | 2,3 | 1,8 |
| 1-0,5 | 11,6 | 12,1 |
| 0,5-0,25 | 16,1 | 16,6 |
| 0,25-0,10 | 14,3 | 15,2 |
| 0,10-0,05 | 11,6 | 11,9 |
| 2-0,05 | 56,1 | 57,6 |
| 0,05-0,002 | 28,9 | 28,2 |
| < 0,002 | 15,0 | 14,2 |
| Clase textural | Fa | Fa |
| Carbono orgánico (%) | 3,2 | 3,1 |
| pH _{agua} | 6,1 | 6,5 |
| Ca | 7,3 | 9,6 |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | Mg | 0,8 |
| | K | 0,7 |
| | Na | 0,3 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 9,2 | 11,2 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 19,8 | 20,8 |
| Saturación de bases (%) | 46 | 54 |
| Retención de P (%) | 65 | 69 |
| Al ox (%) | 1,2 | 1,3 |
| Fe ox (%) | 0,37 | 0,4 |
| Al ox + ½Fe ox (%) | 1,39 | 1,51 |
| Vidrios (fracción 0,02-2 mm) (%) | 69,0 | 75,3 |

4.3.3 Región del Bío-Bío (36°00' - 37°45' aprox.)

En el sector pre-cordillerano de esta Región, los únicos suelos de los que se tienen datos morfológicos y analíticos confiables son aquellos que se encuentran en posición de terrazas aluviales asociadas a los ríos importantes de la zona, tales como el Laja y el Duqueco (Figura 4-4, al final del Capítulo). Esto se debe a que en los reconocimientos de suelos regionales, esos sectores aparecen como las áreas con mayor potencialidad de utilización agrícola. Se les reconoce un material parental de origen volcánico, aun cuando en muchos casos no se hicieron los análisis específicos para determinar si existen o no propiedades ándicas. Los suelos ocupan posiciones de

terrazas aluviales altas, con pendientes entre 1 y 3%. En su mayoría son suelos solo ligeramente profundos, es decir hasta 75 cm, sobre un sustrato de arenas y gravas de origen aluvial, pero también mezcladas con materiales gruesos de origen volcánico. Los horizontes superficiales y subsuperficiales presentan color pardo rojizo oscuro en el matiz 5YR y el sustrato puede llegar a tener un color gris muy oscuro. Las clases texturales varían entre franco arenosa y franco limosa, con estructura de bloques subangulares; en cambio, en los sustratos las clases texturales son siempre arenosas y sin estructura (grano simple). El arraigamiento es moderado en el suelo, con un decrecimiento abrupto en el sustrato. El pH en todos los horizontes se mantiene alrededor de 6 y la SB no es superior a 20% en todos los suelos. Algunos cumplen con los requerimientos de las propiedades vítricas, por lo que han sido clasificados como Andisols. Presentan buen drenaje, aun cuando, en general su aptitud agrícola es limitada, por lo que las Fases de las distintas Series descritas varían entre IV y VII de Capacidad de Uso, dependiendo de la profundidad, cantidad de gravas y clases texturales (muy gruesas). Las Series Antuco y Manquel se pueden considerar como representativas de este grupo. En el Cuadro 4-7 se presentan algunas propiedades físicas y químicas de la Serie Antuco (Humic Vitrixerand).

Cuadro 4-7. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de la Serie Antuco (CIREN, 1999)

| Profundidad (cm) | 0 - 15 | 15 - 35 | 35 - 45 | 45 - 75 | |
|---|----------------|----------------|---------|----------------|------|
| Distribución partículas por tamaño (%) | A ₁ | A ₂ | AC | C ₁ | |
| 2-1 | 8,5 | 22,3 | 26,2 | 23,0 | |
| 1-0,5 | 11,1 | 19,3 | 28,5 | 31,6 | |
| 0,5-0,25 | 12,2 | 19,6 | 24,3 | 27,6 | |
| 0,25-0,10 | 14,8 | 20,3 | 15,3 | 14,2 | |
| 0,10-0,05 | 23,1 | 10,3 | 3,7 | 2,5 | |
| 2-0,05 | 69,7 | 91,8 | 98,0 | 98,9 | |
| 0,05-0,002 | 27,7 | 8,0 | 1,8 | 1,0 | |
| < 0,002 | 2,6 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | |
| Clase textural | Fa | a | a | a | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,38 | 1,59 | 1,67 | 1,62 | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 11,9 | 8,8 | 5,8 | 5,8 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 5,8 | 4,7 | 2,3 | 2,3 | |
| Carbono orgánico (%) | 2,47 | 0,88 | 0,32 | 0,16 | |
| pH _{agua} | 5,8 | 6,0 | 6,3 | 6,3 | |
| Retención de P (%) | 35 | 43 | 22 | 18 | |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 1,28 | 0,61 | 0,64 | 0,49 |
| | Mg | 0,15 | 0,11 | 0,11 | 0,09 |
| | K | 0,13 | 0,06 | 0,03 | 0,03 |
| | Na | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,01 |
| | Al | 0,03 | 0,07 | 0,00 | 0,00 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 1,59 | 0,79 | 0,78 | 0,61 | |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 7,75 | 3,17 | 3,45 | 1,49 | |
| CICE (CIC efectiva) (cmol _c kg ⁻¹) | 1,62 | 0,86 | 0,78 | 0,61 | |
| Vidrio (Fracción 0,02 - 2 mm) (%) | 68,0 | 40,0 | 34,0 | 32,0 | |
| Al ox + 1/2 Fe ox (%) | 0,80 | 1,06 | 0,62 | 0,56 | |
| Saturación de bases (%) | 21,0 | 25,0 | 23,0 | 41,0 | |

4.4 Suelos de la Depresión Intermedia

Corresponde a un Graben de relieve plano a moderadamente ondulado que se ha formado entre la Pre - Cordillera de Los Andes y los cerros de la Cordillera de la Costa. No constituye una unidad fisiográfica continua, sino que está formada por una serie de cuencas de origen tectónico de diferentes dimensiones, hidrografía, altura y características edáficas. Las cuencas están rellenas con sedimentos fluviales, glaciales, fluvio-glaciales y volcánicos, a partir de los cuales se han desarrollado los suelos del sector.

4.4.1 Regiones de Valparaíso y Metropolitana (32°00' – 34°00' aprox.)

Suelos en terrazas aluviales. Los suelos que ocupan la posición de terrazas aluviales, abanicos y conos generados por la acción de las corrientes superficiales, presentan varias características comunes, que los identifican como provenientes de similares procesos geológico-pedogénicos (Figura 4-5, al final del Capítulo). Todos ellos se encuentran, geográficamente, asociados a cursos de ríos actuales ocupando las terrazas bajas e intermedias en el paisaje, o bien, como terrazas denominadas *remanentes*, asociadas a cursos de ríos que ya no están presentes. El relieve es siempre plano o casi plano, con muy escasas situaciones donde podría llegar a ser ligeramente ondulado (2 a 5% de pendiente). La mayoría de estos suelos son profundos, entre 100 y 140 cm hasta la profundidad de descripción, pues el sustrato no siempre es visible a esa profundidad. Cuando se describe, el sustrato consiste, para la mayor parte de los suelos, en el típico sedimento de origen aluvial constituido por gravas redondeadas o facetadas con una matriz de arena media o gruesa (Figura 4-6, al final del Capítulo); en otros suelos la matriz puede ser franco arenosa, franco limosa e incluso franco arcillosa. El sustrato aluvial puede limitar en forma importante la profundidad del suelo, como ocurre, por ejemplo, en la Serie Putaendo, que se encuentra a los 34 cm de profundidad. La mayoría de estos suelos son de clase textural media a gruesa (desde franca a arenosa gruesa) a través del perfil, con un incremento de la fracción gruesa con la profundidad. Solamente algunos suelos presentan clases texturales medias y finas, las cuales, generalmente, se mantienen a través del perfil; es el caso de las Series La Ligua, Las Chilcas, Mapocho y, en parte, la Serie Maipo. El color de los horizontes superficiales es pardo a pardo oscuro en el matiz 10YR y más raramente en el matiz 7.5YR. Solamente los suelos La Ligua y Las Chilcas tienen un color pardo rojizo oscuro en el matiz 5YR. En profundidad, el color generalmente tiene un croma y un valor (Munsell) más elevado que en la superficie (3/4 y 4/4) con la excepción de aquellos suelos que manifiestan problemas de drenaje y evidencias de reducción en algunos horizontes, como ocurre en las Series Pataguas, Codigua y algunas Fases de Rinconada de Lo Vial.

La estructura es, para la mayoría de los suelos, de bloques subangulares medios y gruesos, de grado débil y moderado, y raramente fuerte. Los horizontes más profundos pueden no tener estructura, ya sea como grano simple (Series Codigua, Isla de Huechún y Liray) o bien maciza (Series Las Chilcas, Las Varillas y Pataguas). Las raíces finas y medias, aunque escasas, pueden alcanzar hasta los horizontes más profundos y solamente las Series Lampa, La Ligua, Putaendo y Rinconada de Lo Vial no se observan en los horizontes más profundos. El pH varía entre 6,8 y 8,2 para casi todos los suelos considerados, donde los mayores valores se encuentran en los horizontes inferiores. La SB es siempre superior a 75%, sin tendencia especial dentro de los perfiles. Muchos suelos se han descrito con carbonato de calcio en la matriz y en mayor cantidad en los horizontes superficiales. Esto se ha atribuido a su incorporación por las aguas de riego, en especial los suelos regados con aguas del río Maipo, como ocurre en la Serie Santiago (5%). Solamente en la Serie La Higuera (Calcixeroll), la presencia de carbonatos se consideraría como

pedogénica, con 34,1% en el horizonte superficial y 21,4% en profundidad. La mayoría de estos suelos presenta algún nivel de salinidad a través del perfil, pero no superior a $2,5 \text{ dS m}^{-1}$.

La mayoría son suelos que presentan buena permeabilidad y buen drenaje. Solamente en algunas Fases el drenaje puede ser de moderado a imperfecto, especialmente cuando el relieve presenta una ligera a moderada concavidad (como en algunas Fases de las Series Mapocho, Liray y Pataguas). Las propiedades descritas para estos suelos determinan que ellos posean buena aptitud agrícola para la mayoría de los casos, de tal manera que las Clases de Capacidad de Uso varían de una Serie a otra entre I y III. Las Fases con drenaje imperfecto pueden mostrar una aptitud más limitada, de tal manera que se han calificado en Clase IV. Desde el punto de vista taxonómico, es notable la gran uniformidad que se encuentra y que evidencia una gran similitud en materiales de origen y en procesos pedogénicos. De esta manera, de todos los suelos seleccionados para este análisis (30 Series), el 80% se clasificó en el Gran Grupo Haploxeroll, Sub Grupos Fluventic, Ultic y Entic. El resto corresponde a Inceptisols, Gran Grupo Haploxerept. A manera de ejemplo se presentan en los cuadros 4-8 y 4-9, las propiedades de dos suelos considerados como representativos de este grupo: Maipo (Fluventic Haploxeroll) y Codigua (Entic Haploxeroll).

Cuadro 4-8. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de la Serie Maipo (CIREN, 1996a)

| Profundidad (cm) | 0 - 16 | 16 - 33 | 33 - 50 | 50 - 74 | 74 - 92 | 92 - 120 | |
|--|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| | A _p | A ₁₂ | B ₁ | B ₂ | C ₁ | C ₂ | |
| | 2-1 | 1,0 | 2,3 | 2,8 | 2,8 | 3,5 | 4,9 |
| | 1-0,5 | 3,6 | 3,4 | 4,6 | 7,3 | 8,0 | 9,4 |
| Distribución partículas por tamaño (%) | 0,5-0,25 | 5,4 | 4,9 | 5,3 | 7,2 | 8,5 | 9,3 |
| | 0,25-0,10 | 15,8 | 12,9 | 6,3 | 8,1 | 9,5 | 11,5 |
| | 0,10-0,05 | 16,2 | 14,5 | 6,8 | 7,9 | 10,8 | 10,7 |
| | 2-0,05 | 42,0 | 38,0 | 25,8 | 33,3 | 40,3 | 45,8 |
| | 0,05-0,002 | 31,7 | 39,7 | 40,6 | 34,9 | 31,9 | 31,6 |
| | < 0,002 | 27,3 | 22,3 | 33,6 | 31,8 | 27,8 | 22,6 |
| Clase textural | FA | F | FA | FA | FA | F | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 21,0 | 22,0 | 24,0 | 23,0 | 27,0 | 22,0 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 13,0 | 14,0 | 16,0 | 16,0 | 18,0 | 13,0 | |
| Carbono orgánico (%) | 1,5 | 1,2 | 1,2 | 0,8 | 0,4 | 0,3 | |
| pH _{agua} | 8,0 | 8,0 | 7,8 | 7,7 | 7,7 | 7,6 | |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,8 | |
| CaCO ₃ (%) | 2,7 | 2,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | -- | -- | 21,3 | 19,5 | 19,0 | 20,0 |
| | Mg | -- | -- | 2,3 | 2,1 | 2,2 | 2,1 |
| | K | 2,2 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,5 |
| | Na | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | -- | -- | 24,7 | 22,9 | 22,5 | 23,5 | |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 17,9 | 18,1 | 30,5 | 28,7 | 26,4 | 26,3 | |
| Saturación de bases (%) | -- | -- | 81,0 | 80,0 | 85,0 | 89,0 | |

Cuadro 4-9. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de la Serie Codigua (CIREN, 1996a)

| Profundidad (cm) | 0 - 22 | 22 - 40 | 40 - 55 | 55 - 70 | 70 - 100 | |
|---|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|
| | A ₁ | C ₁ | 2C ₂ | 2C ₃ | 3C ₄ | |
| Distribución partículas por tamaño (%) | | | | | | |
| 2-1 | 0,8 | 1,7 | 3,7 | 1,5 | 4,0 | |
| 1-0,5 | 3,9 | 9,2 | 18,8 | 11,0 | 16,0 | |
| 0,5-0,25 | 15,6 | 49,1 | 51,8 | 51,2 | 42,5 | |
| 0,25-0,10 | 19,4 | 28,7 | 20,8 | 29,7 | 30,5 | |
| 0,10-0,05 | 14,7 | 6,2 | 3,1 | 4,9 | 5,0 | |
| 2-0,05 | 54,4 | 94,9 | 98,2 | 98,3 | 98,0 | |
| 0,05-0,002 | 25,9 | 4,9 | 1,8 | 1,7 | 2,0 | |
| < 0,002 | 19,7 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Clase textural | Fa | a | a | a | a | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,7 | - | - | - | - | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 22 | 5 | 5 | 4 | 5 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 12 | 3 | 3 | 2 | 3 | |
| Carbono orgánico (%) | 2,4 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |
| pH _{agua} | 7,7 | 8,2 | 8,4 | 8,4 | 8,4 | |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 1,0 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | |
| CaCO ₃ (%) | 2,8 | 1,4 | 1,2 | 1,0 | 1,4 | |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | n.d | n.d | n.d | n.d | |
| | Mg | n.d | n.d | n.d | n.d | |
| | K | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| | Na | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 20,6 | 6,4 | 5,0 | 3,6 | 4,3 | |

Suelos en posición de cerros. Éstos corresponden a prolongaciones de los cerros de la Cordillera de Los Andes que se internan hacia la Depresión Intermedia, dando origen desde lomajes suaves hasta cerros muy escarpados con pendientes superiores a 50%. Es escasa la información que se tiene de los suelos que se encuentran en estas posiciones, pues en la mayoría de los reconocimientos realizados por las instituciones del Estado, se ha considerado que son suelos sin aptitud agrícola y que, además, están por sobre la cota de riego, por lo tanto no se habría justificado su reconocimiento y caracterización. A partir del año 2000 aproximadamente, se han incrementado en forma considerable las plantaciones frutales en esta clase de suelos, particularmente en la regiones de Valparaíso y Metropolitana (Figura 4-7, al final del Capítulo). Por esta razón, es necesario proporcionar algunos elementos de juicio acerca de sus propiedades a partir de los escasos datos disponibles.

Topográficamente presentan pendientes de 8 a 15%, de 15 a 20% y más de 50% en los sectores más escarpados; son suelos ligera a moderadamente profundos (75 cm hasta la roca) sobre un sustrato constituido por rocas básicas del tipo andesitas y dioritas con diferentes grados de meteorización. Los colores en superficie son pardo oscuros en los matices 7.5YR y 10YR que, hacia los horizontes más profundos, puede llegar a un rojo amarillento (5YR4/8), como ocurre en el perfil descrito para la Asociación La Lajuela. La mayoría de estos suelos son de clases texturales medias y finas (franco arcillo limosa hasta arcillosa), con una tendencia a hacerse más finas hacia los horizontes en contacto con el sustrato. Presentan buena estructura, de bloques subangulares finos y medios en todos los horizontes y sólo en algunos suelos puede ser maciza. Presentan buena penetración radical, limitada solamente por la presencia del sustrato. El pH es variable, desde 5,5 hasta 7,5, al igual que la SB, que puede variar entre 64 y 100%. No se han descrito suelos con salinidad ni con carbonatos, aun cuando no se descarta la presencia de estos últimos en algunos suelos, como herencia de sus materiales parentales. Todos presentan buen drenaje y buen escurrimiento superficial; a pesar de ello, solamente algunos suelos han evidenciado procesos de erosión moderada. Al respecto, se estima que estos procesos erosivos podrían ser más intensos y frecuentes de los descritos y que incluso podrían acentuarse, por efecto del uso agrícola actual al que están sometidos.

Prácticamente todos los suelos descritos presentan pedregosidad angular y subangular a través del perfil (moderada a común) y la rocosidad se hace abundante en las Fases con pendientes más escarpadas (>50%). A causa de sus propiedades y posición en el paisaje, se les considera en Clases VI y VII de Capacidad de Uso, independiente del uso actual al que están sometidos. Para el análisis de este tipo de suelos se ha utilizado la información proveniente de los perfiles que califican a las Asociaciones de Suelos en los Estudios Agrológicos respectivos; éstas son las Asociaciones La Parva, Mansel (figuras 4-8 y 4-9, al final del Capítulo), Challay y La Lajuela (figuras 4-10 y 4-11, al final del Capítulo). La gran variabilidad de suelos que se puede encontrar en una agrupación cartográfica de esta naturaleza se refleja en la variabilidad taxonómica de ellos; de esta manera se han descrito Palexerolls, Haploxerepts, Haploxerolls y Haploxeralfs. En el Cuadro 4-10 se presentan las propiedades de un perfil representativo de uno de los miembros de la Asociación La Lajuela (Ultic Haploxeralf).

Cuadro 4-10. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil representativo de la Asociación La Lajuela (CIREN, 1996b)

| Profundidad (cm) | 0-12 | 12-28 | 28-50 | 50-70 | 70 y + |
|--|-----------------|------------------|------------------|------------------|--------|
| Distribución partículas por tamaño (%) | A _{t1} | B _{t21} | B _{t22} | B _{t23} | C |
| 2-1 | 4.6 | 2.6 | 4.0 | 2.4 | 7.8 |
| 1-0,5 | 7.0 | 6.4 | 8.0 | 6.1 | 16.2 |
| 0,5-0,25 | 7.3 | 6.6 | 7.6 | 6.6 | 12.4 |
| 0,25-0,10 | 9.8 | 8.8 | 8.0 | 8.6 | 10.4 |
| 0,10-0,05 | 13.2 | 10.1 | 8.5 | 10.8 | 11.6 |
| 2-0,05 | 41.9 | 34.5 | 36.1 | 34.5 | 58.4 |
| 0,05-0,002 | 39.3 | 36.8 | 35.8 | 34.3 | 30.7 |
| < 0,002 | 18.8 | 28.7 | 28.1 | 31.2 | 10.9 |
| Clase textural | Fa | F | FA | FA | FA |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 27 | 21 | 25 | 24 | 19 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 13 | 15 | 14 | 15 | 11 |
| Carbono orgánico (%) | 4.4 | 2.4 | 1.5 | 0.9 | 0.6 |
| pH _{agua} | 5.4 | 5.4 | 4.8 | 5.0 | 5.0 |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | | | | | |
| Ca | 6.0 | 6.1 | 4.0 | 4.2 | 3.7 |
| Mg | 1.0 | 1.6 | 1.8 | 2.3 | 2.3 |
| K | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.2 |
| Na | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 |

Suelos en posición de Piedmont. Estos suelos ocupan una posición intermedia entre los cerros y los valles intermontanos y, en su mayoría, sus materiales de origen provienen de los sedimentos transportados desde las partes más elevadas del relieve. Las pendientes más suaves son de 1 a 3% y las más pronunciadas son de 8 a 15% (Figura 4-12, al final del Capítulo). Son suelos profundos y moderadamente profundos y solamente en algunos casos son suelos delgados (45 cm en la Serie Vichiculén). El sustrato está constituido por gravas angulares y subangulares asociadas a una matriz muy variable, cuya granulometría puede ir desde arenas gruesas hasta arcilla y en porcentajes muy variables. Las gravas pueden ser de origen granítico o bien de tipo basáltico – andesítico, dependiendo si los materiales de origen provienen de la Cordillera de la Costa o de la Cordillera de Los Andes, respectivamente. Los colores superficiales son pardo, pardo oscuro y pardo grisáceo muy oscuro en los matices 10YR, 7.5YR y 5YR que, en algunos casos puede variar a pardo amarillento oscuro en los horizontes más profundos. A causa del origen de estos suelos, las variaciones texturales pueden ser considerables tanto en superficie como en profundidad; de esta forma las clases texturales de los epipedones puede ser areno francosa fina, franco arenosa, franco arcillo arenosa, franco arcillo limosa, franco arcillosa y arcillosa, es decir, casi toda la gama del triángulo textural. En los horizontes más profundos la variabilidad es similar. Cabe hacer notar, eso sí, que dentro de cada perfil las clases texturales son relativamente homogéneas, con lo cual se podría establecer que existen piedmonts con suelos de clases texturales gruesas, medias y finas. La estructura es predominantemente de bloques subangulares medios y finos; en algunas Series desaparece (maciza) en los horizontes más profundos, como ocurre en las Series Cuesta Barriga, Pomaire y Las Rosas; en otros casos hay grano simple, como sucede en las Series Chicauma, Pintué y Olmué. Pocos suelos presentan estructura prismática, como ocurre en las Series Huechuraba, Rungue y Calle Larga. La penetración radical es adecuada y se han descrito raíces finas escasas hasta la profundidad de descripción. El pH de los horizontes superficiales varía entre 6,0 y 7,4; en los horizontes más profundos es un poco más elevado, varía entre 7,2 y 8,3. La SB se encuentra siempre sobre 70%.

A causa de la posición y las pendientes, estos suelos tienen buen drenaje y sólo en algunas Fases se puede presentar un drenaje moderado. En la mayoría de los suelos considerados no se ha descrito erosión, solamente se ha presentado de ligera a moderada en algunas Fases de las Series Cuesta Vieja, Chicauma, Calle Larga y Cristo Redentor. En cambio la pedregosidad, tanto en el perfil como en superficie, es común a todos los suelos y ha sido calificada desde moderada a abundante. Así como la mayoría de las características ha sido considerada como muy variada dentro de este grupo de suelos, también las Clases de Capacidad de Uso presentan una dispersión acorde con las propiedades descritas. De esta manera, los suelos con pendientes más suaves, menor pedregosidad y más profundos pueden presentar Fases en Clase II de Capacidad de Uso. En contraste, los suelos que presentan las pendientes más escarpadas, abundante pedregosidad y clases texturales gruesas, se han calificado en Clases IV y VI. La mayoría de los suelos pertenece al Orden Mollisol, Grandes Grupos Argixerolls y Haploxerolls; le siguen los suelos pertenecientes al Orden Inceptisol, Gran Grupo Haploxerept. Para este análisis, además de las Series ya señaladas, se han considerado las Series Encón, Jahuel, Santa Rita de Casablanca, Guay - Guay, Lo Prado y Quilapilún. En el Cuadro 4-11 se presentan algunas propiedades de un perfil de la Serie Chicauma (Typic Haploxerept).

Cuadro 4-11. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil representativo de la Serie Chicauma (CIREN, 1996a)

| Profundidad (cm) | 0 - 17 | 17 - 40 | 40 - 65 | 65 - 96 | 96 - 115 | |
|---|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|
| Distribución partículas por tamaño (%) | A ₁₁ | B ₁ | B ₂ | C ₁ | C ₂ | |
| 2-1 | 3,0 | 5,0 | 2,1 | 3,0 | 6,5 | |
| 1-0,5 | 13,8 | 22,2 | 14,1 | 13,6 | 20,8 | |
| 0,5-0,25 | 24,0 | 33,1 | 28,7 | 25,9 | 26,0 | |
| 0,25-0,10 | 24,8 | 17,5 | 28,1 | 29,9 | 22,0 | |
| 0,10-0,05 | 14,3 | 7,2 | 12,9 | 14,2 | 10,8 | |
| 2-0,05 | 79,6 | 85,0 | 85,9 | 86,6 | 86,1 | |
| 0,05-0,002 | 17,8 | 11,2 | 9,0 | 8,6 | 9,9 | |
| < 0,002 | 2,6 | 3,8 | 5,1 | 4,8 | 4,0 | |
| Clase textural | aF | aF | aF | aF | aF | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 8,0 | 5,0 | 6,0 | 6,0 | 5,0 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 4,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | |
| Carbono orgánico (%) | 0,7 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 4,0 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,3 |
| | Mg | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,6 |
| | K | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |
| | Na | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 4,9 | 4,0 | 4,1 | 4,3 | 3,4 | |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 6,4 | 6,4 | 4,7 | 5,7 | 4,9 | |
| Saturación de bases (%) | 77,0 | 63,0 | 87,0 | 75,0 | 69,0 | |

Suelos en cuencas de sedimentación lacustre. El paisaje y la posición dentro de él es lo que caracteriza a estos suelos de topografía plana o casi plana (1 a 3%). Raramente presentan algunas Fases con pendientes de 2 a 5% y de 5 a 8%, cuando se asocian con los piedmonts que jalonan los valles donde se encuentran, como ocurre con la Serie Chicureo. Generalmente se han descrito como formando parte de terrazas aluviales bajas, cuencas lacustres, planos de sedimentación o planos aluviales cóncavos. La profundidad de estos suelos no está bien definida, desde el momento que las descripciones no siempre alcanzan al sustrato, ya sea por la profundidad de la observación (calicata), o bien por la presencia de un nivel freático que impidió alcanzar capas más profundas. Por esta razón, la profundidad de la mayoría de los suelos

descritos puede más bien inferirse que determinarse en forma absoluta. En aquellos casos en que se hace una explícita descripción, el sustrato consiste en un depósito de carácter aluvial con gravas, en su mayoría redondeadas, con una matriz de material fino franco arcilloso e incluso arcilloso, que suele encontrarse bajo los 100 cm, como ocurre en las Series Artificio y Colunquén (CIREN, 1997a). En otros casos el suelo se describió hasta una capa franco arcillo limosa y arcillosa con diferente porcentaje de gravas aluviales, tal como ocurre en las Series Pucalán, Batuco, Hospital, La Vilana y Peralillo, entre otras. En otros suelos su profundidad está limitada por la presencia de una capa fuertemente compactada y cementada, descrita como horizonte petrocálcico, que se puede encontrar entre los 40 y los 70 cm. Esta situación se menciona en las Series Chicolante, San Isidro y Agua del Gato (Petrocalcic Calciaquoll), cuyas propiedades químicas y físicas se muestran en el Cuadro 4-12.

Cuadro 4-12. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil representativo de la Serie Agua del Gato (CIREN, 1996a)

| Profundidad (cm) | 0 - 19 | 19 - 46 | 46 - 70 | 70 - 85 | |
|---|----------------|-----------------|---------|-----------------|-----|
| Distribución partículas por tamaño (%) | A _p | A ₁₂ | AC | 2C ₁ | |
| 2-1 | 0,6 | 0,1 | 0,2 | 1,4 | |
| 1-0,5 | 1,0 | 0,3 | 0,7 | 4,6 | |
| 0,5-0,25 | 1,4 | 0,7 | 1,4 | 8,7 | |
| 0,25-0,10 | 3,6 | 2,9 | 6,2 | 12,3 | |
| 0,10-0,05 | 7,5 | 7,1 | 8,6 | 8,6 | |
| 2-0,05 | 14,1 | 11,1 | 17,1 | 35,6 | |
| 0,05-0,002 | 55,4 | 49,9 | 46,9 | 41,9 | |
| < 0,002 | 30,5 | 39,0 | 36,0 | 22,5 | |
| Clase textural | FAL | FAL | FAL | F | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 35,0 | 38,0 | 36,0 | 26,0 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 26,0 | 30,0 | 28,0 | 18,0 | |
| Carbono orgánico (%) | 3,3 | 2,6 | 1,1 | 0,4 | |
| pHagua | 7,8 | 7,5 | 7,5 | 8,0 | |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 0,8 | 1,3 | 1,4 | 1,7 | |
| CaCO ₃ (%) | 1,4 | 0,2 | 0,3 | 36,9 | |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | -- | -- | -- | |
| | Mg | -- | -- | -- | |
| | K | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,2 |
| | Na | 1,5 | 2,5 | 1,6 | 1,5 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 42,0 | 50,9 | 40,9 | 20,5 | |

Los colores de los horizontes están asociados a la mayor o menor disponibilidad de oxígeno, debido a que la mayoría de estos suelos no presentan un drenaje completamente libre. Para la mayoría de los suelos se describen rasgos redoximórficos (oxidaciones, moteados) de comunes a abundantes a partir de los 20 ó 30 cm y, en los casos más extremos, en todo el perfil. De esta manera, los epipedones pueden tener colores negros (10YR2/1; 2.5Y2.5/1); gris muy oscuro (10YR3/1) o bien pardo rojizo oscuro (5YR3/2). Los horizontes más profundos pueden presentar colores asociados a procesos de óxido - reducción, tales como gris oscuro (5YR4/1), pardo grisáceo (2.5Y5/2) o gris (10YR5/1). Cuando el sustrato lo constituye un horizonte petrocálcico el color puede variar entre el pardo grisáceo (10YR5/2) y el gris (10YR5/1). Todos los suelos considerados son de clases texturales finas, entre franco arcillosa, franco arcillo limosa, arcillo limosa y arcillosa, con muy escasa variación dentro de un mismo perfil (figuras 4-13, 4-14, al final del Capítulo). Para la mayoría de los suelos la estructura es prismática, incluso en los horizontes superficiales, hasta sin estructura (maciza) en los horizontes más profundos.

Tanto la presencia de capas limitantes (horizontes petrocálcicos) como los niveles freáticos, relativamente superficiales, determinan que no exista una buena penetración radical en profundidad. La presencia de carbonato de calcio en el perfil no está asociada necesariamente a la presencia de un horizonte petrocálcico, pues varios suelos que no poseen este horizonte se han descrito con reacción al HCl, de moderada a fuerte a través del perfil. En los horizontes petrocálcicos, el contenido de carbonatos es superior a 40%. Solamente algunos suelos (Batuco y Peralillo) presentan problemas de salinidad de consideración que afectan y limitan la utilización agrícola de ellos. En el primero se ha medido 18 dS m^{-1} y en el segundo 23 dS m^{-1} . El contenido de CO se mantiene con los mayores valores en los horizontes superficiales (desde 1,1 hasta 8,1%) y un decrecimiento regular con la profundidad, hasta valores tan bajos como 0,2%. Dependiendo del contenido de los carbonatos y la salinidad, el pH puede variar entre 7,0 y 9,3, siempre con los valores más altos en los horizontes más profundos.

Se han descrito solamente dos suelos orgánicos, las Series Palomar (Typic Medihemist) y Panquehue. Esta última forma parte de un sector de pantano que, presumiblemente se podría calificar como Fibrist, aun cuando los antecedentes de descripción y los analíticos impiden una mejor aproximación.

Para la mayoría de los suelos, el drenaje es imperfecto en todas sus Fases y en algunos puede ser pobre y muy pobre, como sucede en las Series Peralillo y la Urraca. Sin embargo, las Clases de Capacidad de Uso que mejor han descrito a estos suelos son III_w y IV_w, para la mayoría, y solamente en algunas Fases han sido calificadas en Clases V y VI. Más del 60% de los suelos analizados han sido clasificados en el Orden Mollisol, Grandes Grupos Palexeroll, Epiaquoll, Haploxeroll, Calciaquoll y Calcixeroll. Los Vertisols descritos pertenecen todos al Gran Grupo Haploxerert. Las Series de Suelos que se utilizaron para este análisis, además de las ya mencionadas son: Artificio, Colunquén, Lo Campo, Huechún, Llay-Llay, Paine, Puntilla, Tronador y Valdivia de Paine.

Suelo de origen volcánico. Para esta Zona sólo se ha descrito un suelo de este tipo, la Serie Pudahuel, que no ha sido clasificado como Andisol, pues sus propiedades fisicoquímicas no son suficientes para ello. No obstante, su origen a partir de cenizas volcánicas ácidas (pumíceas) ha sido mencionado por varios autores (Tosso, 1985; CIREN, 1996a). Se estima que este suelo se ha originado a partir de los sedimentos de cenizas provenientes del gran lahar del volcán San José, de edad pleistocénica (Besoain, 1985).

Se presenta en un relieve de lomajes suaves con pendientes de 1 a 3% y de 2 a 5%; en los sectores fuertemente ondulados, las pendientes pueden alcanzar entre 15 y 20%. Esta variación en el relieve influencia también las condiciones de drenaje del suelo, de tal manera que las áreas deprimidas del paisaje se han separado como Fases de drenaje moderado hasta imperfecto. Las Fases distinguen desde suelos moderadamente profundos hasta delgados, dependiendo de la profundidad a la que se encuentra el duripán silíceo que limita la profundidad del suelo. Las Fases más delgadas deben su origen, por lo general, a procesos de erosión que en la actualidad continúan activos. Se trata de un suelo de clases texturales gruesas, franco arenosa en superficie y arenosa en los horizontes más profundos. El color es pardo oscuro en superficie (7.5YR3/2) y pardo pálido (10YR6/3) en el duripán. El pH varía entre 7,5 y 7,9 y como se ha descrito con carbonatos (aunque en escasa cantidad), se asume que la SB estaría próxima a 100%. A causa del relieve y la variable profundidad que presentan las distintas Fases, se le ha considerado en Clases de Capacidad de Uso III y IV, en general con baja aptitud agrícola. Considerando la escasez de datos analíticos más precisos se le ha clasificado provisoriamente (Aburto *et al.*, 2008) como

Vitrandic Durixerept (figuras 4-15 y 4-16, perfil y detalle duripán respectivamente, al final del Capítulo). En el Cuadro 4-13, se presentan algunas propiedades físicas y químicas obtenidas a partir del Estudio Agrológico de la Región Metropolitana (CIREN, 1996a).

Cuadro 4-13. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil representativo de la Serie Pudahuel (CIREN, 1996a)

| Profundidad (cm) | 0 - 19 | 19 - 34 | 34 - 48 | 48 - 55 | |
|---|----------------|----------------|---------|----------------|-----|
| Distribución partículas por tamaño (%) | A ₁ | A ₂ | B | C ₁ | |
| 2-1 | 2,9 | 2,9 | 1,3 | 2,3 | |
| 1-0,5 | 6,5 | 6,2 | 3,3 | 6,3 | |
| 0,5-0,25 | 10,3 | 11,8 | 10,4 | 27,5 | |
| 0,25-0,10 | 19,6 | 23,0 | 25,3 | 25,8 | |
| 0,10-0,05 | 19,2 | 20,1 | 19,8 | 7,8 | |
| 2-0,05 | 58,5 | 64,0 | 60,1 | 69,7 | |
| 0,05-0,002 | 24,7 | 18,6 | 20,9 | 19,5 | |
| < 0,002 | 16,8 | 17,4 | 19,0 | 10,8 | |
| Clase textural | Fa | Fa | Fa | Fa | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,4 | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 25,0 | 27,0 | 27,0 | 24,0 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 11,0 | 13,0 | 18,0 | 13,0 | |
| Carbono orgánico (%) | 1,2 | 0,5 | 0,4 | 0,2 | |
| pH _{agua} | 7,5 | 7,9 | 7,7 | 7,7 | |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,5 | |
| CaCO ₃ (%) | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | n.d. | n.d. | n.d. | |
| | Mg | n.d. | n.d. | n.d. | |
| | K | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 |
| | Na | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,3 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 11,7 | 10,0 | 10,4 | 9,0 | |

4.4.2 Regiones de O'Higgins y Maule (34°00' - 36°00' aprox.)

Suelos en terrazas aluviales. En estas Regiones se han descrito una gran cantidad de suelos que ocupan esta posición en el paisaje y que, además, han tenido su origen en procesos relacionados con transporte y depositación aluvial. Como se puede esperar, se trata de suelos planos, con topografía que varía entre 1 y 2% y solamente en algunos casos el relieve puede variar a una pendiente de 2 a 3%. Para el caso de cuencas aluviales de menor tamaño, asociadas a cursos de agua también menores, la formación más frecuente es de terrazas aluviales de diferentes alturas y extensiones, pero siempre claramente diferenciadas como unidad geomorfológica independiente. En el caso de valles extensos, tales como los asociados a los ríos Cachapoal, Tinguiririca, Lontué y otros, los suelos se han desarrollado en posición de abanico aluvial de grandes extensiones. La profundidad de los suelos es muy variable, desde los suelos delgados (menos de 50 cm) como sucede con las Series Cachapoal, Casas de Carén, Limanque (figuras 4-17 y 4-18, al final del Capítulo) y Zamorano hasta suelos profundos (más de 100 cm) como ocurre con las Series Nilahue (130 cm), Rancagua (145 cm), Tinguiririca (133 cm), Carrizal (148 cm) y Cunaco (140 cm). El sustrato está constituido, en la mayoría de los casos, por gravas redondeadas y subredondeadas de tamaño variable y en cantidad variable, con una matriz que es arenosa o franco arenosa. Esta matriz puede ser más fina, entre franco arcillosa, franco limosa o franco arcillo arenosa, como ocurre en las Series Nilahue, O'Higgins, Aytué, Cachapoal, Colbún y Duao.

Las clases texturales de los horizontes superficiales pueden ser franca, franco limosa, franco arcillosa, franco arcillo limosa y, en una menor cantidad de suelos, puede ser de clases más gruesas, tales como franco arenosa o franco arenosa fina (Series Quilamuta, Tinguiririca, Carrizal y Malambo). En cambio, en el horizonte genético más profundo, en contacto con el sustrato, no se pudo establecer una tendencia clara, a causa de la gran variabilidad que se ha descrito (desde arcillosa hasta arena gruesa). La mayoría de los suelos muestra una gran homogeneidad estructural, que se manifiesta por la presencia de bloques subangulares medios y finos con diferente consistencia. Escasos suelos muestran grado de no estructura (maciza o grano simple), en particular, en los horizontes más profundos. Tanto en superficie como en profundidad dominan los colores pardos y pardos oscuros, en los matices 10YR y 7.5YR; los suelos con drenaje imperfecto pueden variar entre el pardo grisáceo, el gris oscuro y el negro; en cambio, aquellos suelos en los cuales se observa alguna influencia de materiales graníticos, pueden tener colores pardos rojizos oscuros en el matiz 5YR. La penetración radical es buena en todos los suelos, con un decrecimiento regular con la profundidad; solamente en los sustratos constituidos exclusivamente de gravas no se han descrito raíces.

El CO es siempre bajo en los epipedones, sin superar el 3%, decreciendo hasta 0,1% en los horizontes inferiores. La SB, en todos los horizontes de todos los suelos, se encuentra sobre el 65%, sin una tendencia clara a aumentar o disminuir con la profundidad. Solamente algunos suelos se han descrito con una SB particularmente baja, como las Series Carrizal (38%), Lontué (35%) y Malambo (36%). El pH se manifiesta sin grandes variaciones, entre 6 y 7. La presencia de carbonatos es ocasional en algunos horizontes de algunos suelos, sin que interfieran en su uso y manejo. En cambio, la presencia de rasgos redoximórficos es frecuente y se han descrito desde comunes a abundantes en los horizontes subsuperficiales. En general, el drenaje de los suelos es bueno, con Fases de drenaje moderado que puede llegar a imperfecto en algunas de ellas.

De esta manera, y considerando todas las características descritas, las Clases de Capacidad de Uso de estos suelos de origen aluvial pueden variar desde Clase I a IV, ya sea por una disminución en su profundidad, un aumento en la pedregosidad en el perfil o un drenaje más pobre o un conjunto de todas estas características. Los mejores suelos, desde el punto de vista de su aptitud agrícola, con varias Fases en Clase I, son las Series O'Higgins, Olivar y Talcahué. Se considera que los suelos con menor aptitud agrícola son las Series: Graneros de la Cabaña, por profundidad y drenaje; Limanque, por profundidad y pedregosidad y Lontué, por profundidad y clases texturales gruesas. Desde el punto de vista taxonómico los Órdenes que se han descrito son: Alfisol (Gran Grupo Haploxeralf), Entisol (Grandes Grupos Xerofluvent y Xerorthent), Mollisol (Grandes Grupos Haploxeroll, Palexeroll y Argixeroll) e Inceptisol (Gran Grupo Haploxerept).

Además de las Series de Suelos ya mencionadas, para este análisis se han tomado en consideración las Series Pataguas, Peumo, Ranquihue, Antivero, Callejones, Cocalán, Corcolén, Chépica, Graneros, La Burra, La Rosa, Las Garzas, Macarena, Marchant, Achibueno, Caone, Comalle, Culpehue, Chiguay, Guaycután, Huapi, Huelón, Linares, Loiza, Los Puercos, Perquilauquén, Liucura, Melozal, Perquin, Piedra Blanca, Putagán, San Javier y Santa Rosa de Lontué. En los cuadros 4-14 y 4-15 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de la Serie O'Higgins (Fluventic Haploxeroll) y la Serie Lontué (Typic Haploxerept) consideradas representativas de este grupo de suelos.

Cuadro 4-14. Propiedades de un perfil representativo de la Serie O'Higgins (CIREN, 1996b)

| Profundidad (cm) | 0-18 | 18-35 | 35-63 | 63-84 | 84-120 | |
|---|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
| Distribución partículas por tamaño (%) | A _p | A ₁₂ | B ₁ | B ₂ | B ₃ | |
| 2-1 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | |
| 1-0,5 | 2,1 | 1,8 | 2,0 | 1,3 | 2,1 | |
| 0,5-0,25 | 2,7 | 2,8 | 4,1 | 2,4 | 3,0 | |
| 0,25-0,10 | 7,1 | 6,4 | 10,4 | 7,7 | 6,7 | |
| 0,10-0,05 | 7,2 | 6,5 | 11,0 | 15,9 | 13,8 | |
| 2-0,05 | 19,6 | 17,9 | 27,8 | 27,5 | 26,0 | |
| 0,05-0,002 | 65,5 | 51,0 | 68,1 | 70,4 | 59,6 | |
| < 0,002 | 14,9 | 31,1 | 4,1 | 2,1 | 14,4 | |
| Clase textural | FL | FAL | FL | FL | FL | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,48 | 1,49 | 1,41 | 1,30 | 1,53 | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 30,43 | 28,22 | 28,00 | 27,82 | 28,03 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 17,29 | 16,94 | 17,58 | 17,05 | 16,27 | |
| Carbono orgánico (%) | 2,0 | 1,6 | 0,7 | 0,5 | 0,5 | |
| pH _{agua} | 6,5 | 6,4 | 6,5 | 6,6 | 6,5 | |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 18,23 | 19,23 | 21,40 | 22,27 | 22,40 |
| | Mg | 1,43 | 1,58 | 2,15 | 3,40 | 5,18 |
| | K | 1,11 | 0,69 | 0,43 | 0,37 | 0,40 |
| | Na | 0,23 | 0,24 | 0,40 | 0,48 | 0,47 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 21,00 | 21,74 | 24,38 | 26,52 | 28,45 | |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 23,63 | 23,79 | 25,90 | 26,17 | 29,25 | |
| Saturación de bases (%) | 89,0 | 91,0 | 94,0 | 100,0 | 97,0 | |
| Saturación de Na (%) | 1,0 | 1,0 | 1,5 | 1,8 | 1,6 | |

Cuadro 4-15. Propiedades de un perfil representativo de la Serie Lontué (CIREN, 1997b)

| Profundidad (cm) | 0 - 22 | 22 - 55 | |
|--|----------------|---------|-----|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | B | |
| 2-1 | 0,8 | 6,1 | |
| 1-0,5 | 7,1 | 11,3 | |
| 0,5-0,25 | 12,8 | 14,4 | |
| 0,25-0,10 | 21,3 | 21,1 | |
| 0,10-0,05 | 14,8 | 13,5 | |
| 2-0,05 | 56,8 | 66,4 | |
| 0,05-0,002 | 32,8 | 25,6 | |
| < 0,002 | 10,4 | 8,0 | |
| Clase textural | Fa | Fa | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 23,0 | 22,0 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 14,0 | 15,0 | |
| pH _{agua} | 6,2 | 6,5 | |
| Carbono orgánico (%) | 3,0 | 2,7 | |
| Óxidos libres de Fe (%) | 1,3 | 1,1 | |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 6,0 | 5,2 |
| | Mg | 0,7 | 0,5 |
| | K | 0,4 | 0,3 |
| | Na | 0,3 | 0,3 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 7,4 | 6,3 | |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 17,0 | 22,8 | |
| Saturación de bases (%) | 44,0 | 28,0 | |

Suelos en posición de piedmont. Estos suelos ocupan planos inclinados, correspondientes a coluvios y piedmonts, de pendientes moderadas, en una posición intermedia entre los cerros más

escarpados y los suelos de los valles aluviales. Las pendientes más frecuentes son de 1 a 3%, de 2 a 5% hasta de 3 a 8%. La mayoría de los suelos son de moderadamente profundos a profundos, con algunas excepciones de suelos delgados, tales como las Series Majadilla, Loma Grande y Cabrería. En los suelos descritos como profundos y muy profundos no se identificó el sustrato, en cambio, en los suelos de menor profundidad se pudieron diferenciar dos clases de sustrato: a) el constituido por gravas angulares y subangulares con matriz, ya sea arcillosa o franco arcillosa o bien franco arenosa y arenosa gruesa y b) roca meteorizada en diferentes grados, identificada como de origen granítico.

La clase textural de los horizontes superficiales es en su mayoría franco arcillosa y franco arcillo arenosa, aun cuando también se han descrito otros suelos de textura más gruesa, tales como franca, franco arenosa y franco arenosa fina. Existe una tendencia al aumento de la fracción fina hacia los horizontes más profundos para la mayoría de los suelos y, sólo en algunos casos, las clases texturales se mantienen sin variación con la profundidad. En superficie los colores varían entre el pardo oscuro y el pardo rojizo oscuro en los matices 10YR, 7.5YR y 5YR, y en los horizontes más profundos la variabilidad de colores es mayor, presentándose colores tales como pardo amarillento oscuro, pardo grisáceo oscuro, gris, pardo rojizo y pardo rojizo oscuro. La variación de color en profundidad se atribuye a que muchos suelos presentan un drenaje de moderado a imperfecto y a que los rasgos redoximórficos son abundantes en los horizontes más profundos, aun cuando también pueden llegar a ser comunes a través de todo el perfil.

La estructura dominante es de bloques subangulares medios. También se han descrito algunos suelos con estructura prismática y, sólo en algunos casos y en profundidad, sin estructura (maciza). El arraigamiento es débil en la mayoría de los suelos, de tal forma que en los horizontes más profundos, se han descrito raíces muy escasas o bien sin su presencia. La pedregosidad en el perfil, de tipo angular y subangular, es de común a abundante en todos los suelos y solamente en algunos es abundante en superficie, como ocurre en las Series Montonera y Maitén de Malloa. En el Cuadro 4-16 se presentan las principales propiedades físicas y químicas de un perfil de la Serie Maitén de Malloa (Typic Haploxeroll).

Cuadro 4-16. Propiedades de un perfil representativo de la Serie Maitén de Malloa (CIREN, 1996b)

| Profundidad (cm) | 0 - 20 | 20 - 45 | 45 - 80 | 80 - 110 |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | A ₃ | B ₁ | B ₂ |
| 2-1 | 5,4 | 8,4 | 5,5 | 9,3 |
| 1-0,5 | 12,2 | 13,6 | 17,6 | 18,3 |
| 0,5-0,25 | 8,7 | 9,0 | 14,2 | 11,1 |
| 0,25-0,10 | 13,3 | 14,3 | 16,8 | 16,7 |
| 0,10-0,05 | 12,1 | 9,8 | 8,1 | 11,5 |
| 2-0,05 | 53,7 | 55,1 | 62,2 | 66,9 |
| 0,05-0,002 | 33,8 | 29,8 | 22,4 | 20,1 |
| < 0,002 | 12,5 | 15,1 | 15,4 | 13,0 |
| Clase textural | Fa | Fa | Fa | Fa |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,69 | 1,80 | 1,82 | -- |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 16,9 | 14,8 | 12,8 | 12,2 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 7,1 | 6,7 | 6,7 | 7,5 |
| pH _{agua} | 6,2 | 6,2 | 6,6 | 6,7 |
| Carbono orgánico (%) | 1,8 | 0,6 | 0,3 | 0,3 |
| Cationes | Ca | 17,2 | 13,7 | 12,1 |
| intercambiables | Mg | 2,6 | 2,3 | 2,9 |
| (cmol _c kg ⁻¹) | K | 0,9 | 0,8 | 0,7 |
| | Na | 0,2 | 0,2 | 0,1 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 20,9 | 17,0 | 15,9 | 16,5 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 23,5 | 18,8 | 18,8 | 17,9 |
| Saturación de bases (%) | 89 | 90 | 84 | 92 |

La SB es inferior a la de los suelos que ocupan la misma posición en las regiones de Valparaíso y Metropolitana, esto es, entre 44 y 80%; generalmente, con los mayores valores hacia los horizontes más profundos. El CO alcanza 2,5% como máximo en los epipedones y decrece en profundidad hasta 0,1%. También el pH es inferior al de los suelos de la Zona de más al norte, con valores entre 4,9 y 7,5. Tanto por las pendientes como por la profundidad de los suelos, así como por la abundante pedregosidad, la aptitud agrícola de los suelos es más limitada, por lo que a la mayoría de ellos se les ha asignado Clase IV de Capacidad de Uso y solo a algunas Fases, una Clase III. De acuerdo a la clasificación taxonómica, se han identificado Mollisols (Grandes Grupos Palixeroll, Haploxeroll y Argixeroll), Inceptisols (Grandes Grupos Haploxerept y Epiaquept), Alfisols (Grandes Grupos Haploxeralf y Palixeralf) y Entisols (Gran Grupo Xerofluvent).

Además de las Series de Suelos ya mencionadas, se han tomado en consideración para este análisis las Series Goyana, Ajial, Larmahue, Mancumán, Pichidegua, Yaquil, Comávida, La Palma, Licantén, Pencahue, Talguenal, Tricao y Virquén.

Suelos en cuencas de sedimentación lacustre. Los suelos que se encuentran en esta posición ocupan las partes más deprimidas del paisaje, ya sean planos de inundación, cuencas de sedimentación o bien terrazas aluviales antiguas en las posiciones más bajas del paisaje. Se trata de suelos que presentan una topografía plana (0 - 1%) y sólo en algunas Fases de algunas Series de Suelos la topografía puede ser casi plana (1 - 3%). Asociada a los mecanismos de depositación de los sedimentos, la composición granulométrica de los suelos está dominada por clases texturales finas, esto es arcillosa, franco arcillosa o bien arcillo limosa. Para la mayoría de los suelos esta distribución de partículas es homogénea a través de los perfiles y solamente en algunos de ellos se presenta un incremento de la fracción fina con la profundidad. La mayoría de

los suelos considerados dentro de este grupo se ha descrito como moderadamente profundos y profundos, esto es, entre 75 y 100 cm y entre 100 y 150 cm respectivamente, y solamente algunos son ligeramente profundos, es decir, entre 50 y 75 cm. Estos últimos tienen como limitante de la profundidad a estratas cuyo origen puede estar relacionado más bien con procesos geológicos que con procesos pedogénicos. De esta manera son frecuentes las tobas y las brechas volcánicas, que pueden aparecer en las descripciones como duripanes. En otros casos, el sustrato está constituido por una arenisca compactada y cementada que también ejerce el efecto de limitante de la profundidad del suelo.

La mayoría de los suelos tiene colores pardo, pardo grisáceo, pardo oscuro, gris oscuro y negro en el matiz 10YR. Las Series Colchagua, Gualas, Malloa, Palquiales y Pupilla tienen colores dominantes en el matiz 5YR. En la mayoría de los horizontes más profundos los colores grises están asociados a rasgos redoximórficos, en particular empobrecimientos, indicando con ello la presencia de niveles freáticos en algún período del año. La mayoría presenta buena estructuración, ya sea de bloques o prismática moderada o fuerte en los horizontes superficiales y subsuperficiales; solamente en profundidad, en contacto con el sustrato, aparece en muchos suelos un grado de no estructura maciza. El sistema radical se desarrolla en buenas condiciones a través del perfil; solamente en profundidad y en los horizontes en contacto con el sustrato las raíces son escasas o inexistentes. El CO no es particularmente elevado en los horizontes superficiales, varía entre 1,5 y 4,0% como regla general. Solamente la Serie Gatera se sale de esta regla y alcanza a 5,8% en el horizonte A. La disminución en profundidad es normal, alcanzando valores de 0,1% como ocurre en la Serie Collín. El pH varía entre 5,3 y 7,9, con una tendencia a valores más altos en los horizontes más profundos. La presencia de rasgos redoximórficos es común a abundante en todos los suelos y a través de todo el perfil. En algunos suelos se han descrito los niveles freáticos a 90, 50 y hasta 20 cm de profundidad. Por estas razones todos los suelos que se encuentran en este grupo han sido descritos con drenaje imperfecto y en muchas Fases como pobre. Las Clases de Capacidad de Uso que mejor se representan en estos suelos son III_w y IV_w y, en los casos de drenaje más pobre, se les ha asignado una Clase VI_w.

Al considerar la clasificación taxonómica de los suelos, se puede apreciar que la mayoría se ha clasificado en dos Órdenes, Vertisol y Mollisol y, en menor proporción, como Inceptisol y Alfisol. Los Grandes Grupos más frecuentes dentro de los Vertisols son los Haploxererts, Durixererts y Epiaquerts; en menor proporción, Calcixererts. Los Mollisols más frecuentes son Durixerolls, Haploxerolls y Argixerolls.

Además de las Series ya mencionadas, se han utilizado para esta discusión las Series Alantaña, Almahue, Huique, Laguna de San Vicente de Tagua Tagua, Lihueimo, Los Cardos, Puquillay, Quiahue, San Vicente, Curicó, Chequenlemono, El Molino, Guaiquillo, Los Coipos, Palmilla, Quella (figuras 4-19 y 4-20, al final del Capítulo), Quepo, Quicharco y Treile. En el Cuadro 4-17 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de la Serie Quicharco (Typic Argixeroll) considerada como representativa de este grupo.

Cuadro 4-17. Propiedades de un perfil representativo de la Serie Quicharco (CIREN, 1997b)

| Profundidad (cm) | 0 - 10 | 10 - 36 | 36 - 60 | 60 - 90 | 90 + |
|---|----------------|----------------|----------------|---------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | B ₁ | B ₂ | BC | C |
| 2-1 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,4 |
| 1-0,5 | 0,3 | 0,1 | 0,6 | 0,8 | 2,2 |
| 0,5-0,25 | 0,9 | 0,4 | 1,0 | 1,8 | 5,3 |
| 0,25-0,10 | 3,6 | 2,7 | 4,4 | 4,4 | 11,8 |
| 0,10-0,05 | 5,9 | 6,2 | 7,5 | 6,6 | 15,7 |
| 2-0,05 | 10,8 | 9,4 | 13,6 | 13,7 | 34,4 |
| 0,05-0,002 | 52,5 | 50,0 | 40,3 | 44,9 | 47,0 |
| < 0,002 | 36,7 | 40,6 | 46,1 | 41,4 | 18,6 |
| Clase textural | FAL | AL | AL | AL | F |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 35,0 | 33,0 | 39,0 | 43,0 | 34,0 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 24,0 | 23,0 | 29,0 | 30,0 | 22,0 |
| pH _{agua} | 6,2 | 6,6 | 6,6 | 6,6 | 6,7 |
| Carbono orgánico (%) | 3,7 | 1,5 | 0,9 | 0,6 | 0,2 |
| Óxidos libres de Fe (%) | 2,4 | 2,6 | 2,2 | 2,1 | 1,8 |
| Cationes | | | | | |
| intercambiables | | | | | |
| (cmol _c kg ⁻¹) | | | | | |
| Ca | 18,6 | 20,2 | 23,0 | 20,9 | 15,8 |
| Mg | 4,0 | 5,4 | 10,0 | 10,1 | 8,8 |
| K | 0,7 | 0,8 | 0,6 | 0,4 | 0,2 |
| Na | 0,4 | 0,5 | 0,8 | 0,8 | 0,7 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 23,7 | 26,9 | 34,4 | 32,2 | 25,5 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 32,8 | 35,6 | 42,4 | 40,3 | 31,4 |
| Saturación de bases (%) | 72,0 | 76,0 | 81,0 | 80,0 | 81,0 |

Suelos sobre toba volcánica. Los suelos que presentan esta capa limitante no ocupan una posición geomorfológica definida en el paisaje, pues han sido descritos como parte de terrazas antiguas remanentes, abanicos piroclásticos, parte de un lahar, cuenca de sedimentación, posiciones altas y bajas del relieve. Asimismo, la capa limitante ha sido descrita de diferente forma, ya sea como toba y brecha volcánica, hardpan cementado con Si y Fe, o bien arenisca cementada con Si. Así como la posición que ocupan estos suelos en el paisaje no es homogénea, el relieve también es variable, de tal manera que se pueden encontrar estos suelos en pendientes de 0 - 1%, 5 - 8% y hasta 8 - 15%. A raíz de la presencia de la capa limitante, los suelos no son profundos, sino que caen en la categoría de ligeramente profundos y, en algunos casos delgados, salvo excepciones, como ocurre con la Serie Canosa (130 cm) y la Serie Huenutil (125 cm) (figuras 4-21 y 4-22, al final del Capítulo). La clase textural del horizonte superficial puede variar desde franco arenosa fina hasta franco arcillosa y, en profundidad, desde franco arenosa hasta arcillosa, siempre con un incremento de la fracción arcilla hacia los horizontes inferiores dentro de cada perfil. Dominan los colores pardo oscuros en el matiz 7.5YR en los horizontes superficiales y subsuperficiales, mientras que en los horizontes en contacto con la toba o, en la toba misma, dominan los colores pardo grisáceo o gris (2.5Y5/2; 10YR5/1). La estructura es de bloques subangulares en superficie y alcanza un grado de no estructura (maciza) en los horizontes más profundos. El sistema radical presenta un escaso desarrollo, de tal manera que sólo se describen raíces finas escasas y en los horizontes más profundos ellas desaparecen por completo.

La SB se encuentra entre 50 y 80% con un incremento hacia los horizontes más profundos. Sólo excepcionalmente, en la Serie San Rafael un horizonte más profundo alcanzó 100% de SB. El pH varía entre 5,2 y 7,5 y el contenido de CO en los horizontes superficiales varía entre 0,6 y 3,5%; en el horizonte subsuperficial inmediatamente sobre la toba, el CO se encuentra entre 0,1 y 0,4%. Todos los suelos presentan rasgos redoximórficos comunes a abundantes, algunos de ellos desde la superficie. De esta manera, el drenaje de los suelos se ha identificado como imperfecto para la

mayoría de ellos y en algunos como pobre. Las Clases de Capacidad de Uso que dominan son III_w y IV_w y, en los casos de los suelos delgados y más pobremente drenados, se les ha asignado una Clase VI_w. Los Órdenes Alfisol y Mollisol son los más representados en este grupo de suelos, principalmente Durixeralfs y Durixerolls, respectivamente. Algunos suelos han sido clasificados dentro de los Inceptisol y Entisol, tales como Durochrepts y Endoaquents, respectivamente. Además de las Series ya mencionadas, se han utilizado para esta discusión las Series Teno, Caliboro, Camarico, Campanacura, El Peñón, Pangué, Parral, Peumal, Quelmenes, Quillayes (Figura 4-23, al final del Capítulo), Tonlemo, Unicavén, Vaquería y Villaseca. En el Cuadro 4-18 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de la Serie Quillayes (Aqui Haploxerept), considerada como representativa de este grupo.

Cuadro 4-18. Propiedades de un perfil representativo de la Serie Quillayes (CIREN, 1997b)

| Profundidad (cm) | | 0 - 12 | 12 - 23 | 23 - 29 | 29 - 45 |
|--|----|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | A ₁ | A ₂ | B ₁ | B ₂ |
| 2-1 | | 0,6 | 0,4 | 0,9 | 0,9 |
| 1-0,5 | | 3,6 | 3,0 | 4,3 | 5,4 |
| 0,5-0,25 | | 11,8 | 11,9 | 12,0 | 12,2 |
| 0,25-0,10 | | 24,4 | 21,7 | 16,8 | 16,8 |
| 0,10-0,05 | | 18,9 | 13,9 | 11,1 | 11,6 |
| 2-0,05 | | 59,3 | 50,9 | 45,1 | 46,7 |
| 0,05-0,002 | | 28,0 | 29,1 | 28,7 | 25,7 |
| < 0,002 | | 12,7 | 20,0 | 26,2 | 27,6 |
| Clase textural | | Fa | F | F | FAa |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 13,0 | 17,0 | 21,0 | 23,0 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | | 5,0 | 9,0 | 12,0 | 14,0 |
| pH _{agua} | | 6,2 | 6,3 | 6,4 | 6,2 |
| Carbono orgánico (%) | | 0,6 | 0,6 | 0,4 | 0,4 |
| Óxidos libres de Fe (%) | | 1,2 | 1,6 | 1,8 | 1,4 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 1,7 | 3,0 | 4,0 | 4,2 |
| | Mg | 0,5 | 1,1 | 1,8 | 2,0 |
| | K | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| | Na | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | | 2,5 | 4,3 | 6,2 | 6,7 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | | 3,9 | 6,4 | 9,6 | 11,0 |
| Saturación de bases (%) | | 64,0 | 67,0 | 65,0 | 61,0 |

Suelos sobre sedimentos fluvio-glaciales. Los suelos que presentan esta clase de sustrato ocupan posiciones en el paisaje del tipo lomajes suaves, terrazas remanentes, terrazas aluviales y más raramente cuencas sedimentarias (figuras 4-24 y 4-25, al final del Capítulo). Por esta razón no se encuentran suelos planos, sino que la mayoría de ellos presenta pendientes de 2 a 5% y 5 a 8% y hasta 20 a 30% en determinadas Fases de algunos suelos. Los suelos que se han descrito son moderadamente profundos y profundos, desde 100 a 155 cm hasta el sustrato y solamente un suelo, la Serie Panguilemu, se ha descrito con 63 cm de profundidad. Aun cuando hay gran variabilidad en los colores, que pueden encontrarse en los matices 5YR, 7.5YR hasta 2.5YR, existe una tendencia hacia los colores más rojizos, tanto en los horizontes superficiales como en profundidad. De esta manera, son frecuentes los colores pardo rojizo oscuro (5YR3/4 y 2.5YR3/4) y pardo rojizo (5YR4/3). Las clases texturales de los epipedones varían entre franco arcillo arenosa, franco arcillosa y franco limosa; solamente en un caso (Serie Matacabritos), el horizonte superficial es franco arenoso muy fino. Hacia los horizontes inferiores siempre existe un incremento de la fracción fina, de manera que se pueden encontrar clases texturales como franco arcillosa y arcillosa. Domina la estructura de bloques subangulares a través de todos los

perfiles; solamente en un caso, en contacto con el sustrato, se ha descrito estructura prismática, mientras que en otro desaparece la estructura (maciza) en la misma posición en el perfil. Hacia los horizontes más profundos las raíces son escasas y en numerosos suelos éstas no existen, en particular en contacto con el depósito fluvioglacial.

La SB es fluctuante en los diferentes suelos y a través de los perfiles, con valores que varían entre 38 y 83%, por lo general con un incremento hacia los horizontes inferiores. El pH varía entre 5,0 y 6,6 y el CO alcanza valores máximos de 2,2% en los epipedones y de 0,2% en los horizontes inferiores, en contacto con el sustrato fluvioglacial. A causa de la presencia de dicho sustrato, que actúa como limitante al paso del agua y de las raíces, es frecuente encontrar rasgos redoximórficos de comunes a abundantes, desde el segundo horizonte o bien desde la superficie. De esta manera, la mayoría de los suelos se ha calificado con drenaje imperfecto a pobre. La aptitud agrícola es limitada, asignándoseles Clases de Capacidad de Uso que varían entre III_w y VI_w. Desde el punto de vista taxonómico, los taxa más representados son los Xeralfs (Haploxeralfs, Palexeralfs), seguidos por Xerepts y en menor cantidad por Xerolls. Para el análisis de este capítulo se han tomado en consideración, además de las Series ya señaladas, las Series Mariposa, Mirador, Panimávida, Peteroa, Peumo Negro, Talca (figuras 4-26 y 4-27, al final del Capítulo) y Trilico. En el Cuadro 4-19 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de la Serie Talca (Pachic Palexeroll), considerada como representativa de este grupo.

Cuadro 4-19. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil representativo de la Serie Talca (CIREN, 1997b)

| Profundidad (cm) | 0 - 16 | 16 - 70 | 70 - 100 |
|--|----------------|-----------------|----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A _p | B _{t2} | B ₃ |
| 2-1 | 0,0 | 0,0 | 0,4 |
| 1-0,5 | 1,4 | 1,9 | 5,3 |
| 0,5-0,25 | 10,1 | 11,2 | 18,9 |
| 0,25-0,10 | 15,2 | 13,6 | 19,8 |
| 0,10-0,05 | 10,0 | 7,4 | 11,2 |
| 2-0,05 | 36,7 | 34,1 | 55,6 |
| 0,05-0,002 | 37,4 | 21,7 | 23,2 |
| < 0,002 | 25,9 | 45,2 | 21,2 |
| Clase textural | F | A | FAa |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,7 | 1,5 | 1,6 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 20,0 | 25,0 | 22,0 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 11,0 | 20,0 | 15,0 |
| pH _{agua} | 5,8 | 6,4 | 6,6 |
| Carbono orgánico (%) | 1,2 | 0,3 | 0,2 |
| Ca | 4,0 | 5,2 | 5,0 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Mg | 1,1 | 2,3 |
| K | 0,4 | 0,2 | 0,2 |
| Na | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 5,7 | 7,9 | 7,7 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 10,4 | 16,3 | 14,4 |
| Saturación de bases (%) | 55,0 | 48,0 | 53,0 |

Suelos de origen volcánico. En esta Zona, los suelos derivados de cenizas volcánicas aún no alcanzan su mayor expresión, cuyo máximo desarrollo en superficie y en evolución pedogénica se encuentra al sur del paralelo 38° LS. Incluso algunos de los suelos utilizados para el análisis de este capítulo, se podrían considerar más bien como parte del sector de Precordillera o en las cercanías de su límite con la Depresión Intermedia. La mayoría de estos suelos se encuentra en posición de lomajes suaves, con pendientes de 2 a 5% y hasta 5 a 8%; solamente uno de los suelos utilizados en este análisis (Serie Maulecura), se encuentra en un abanico aluvial con un sustrato constituido por gravas redondeadas y arena intersticial, sugiriendo con ello un transporte aluvial de las cenizas volcánicas. El color de los horizontes superficiales es regularmente oscuro, 10YR2/1 (negro) o bien 10YR2/2 (pardo muy oscuro), en cambio, en profundidad los colores presentan un croma y un valor (Munsell) más elevado y también pueden cambiar de matiz. De esta manera los horizontes más profundos pueden tener colores pardo fuerte (7.5YR5/6) hasta rojo amarillento (5YR4/6). Las clases texturales son particularmente uniformes entre horizontes y de un suelo a otro, así domina la clase textural franca o franco limosa en superficie y en profundidad. Localmente puede variar a franco arcillo arenosa. Se trata de suelos profundos, de 150 cm o más y, al menos en las descripciones que se dispone, no se llegó a lo que pudiera considerarse como un sustrato. La excepción la constituye el suelo Maulecura, en el cual el sustrato aluvial se describió a los 50 cm de profundidad. Al igual que la clase textural, la estructura es muy uniforme entre los horizontes y de un suelo a otro, esto es, de bloques subangulares medios moderados.

Las características físicas determinan que prácticamente todos los suelos posean una excelente penetración radical, de tal forma que se describen raíces comunes o abundantes hasta los 150 cm. La SB es la característica de los suelos derivados de cenizas volcánicas, esto es inferior a 50% y, en la mayoría de los suelos, con una disminución en profundidad. El CO es medio a elevado en los epipedones, desde 5,0 a 6,5% y con decrecimiento gradual con la profundidad hasta 1,0%. El pH se mantiene bastante uniforme en la mayoría de los suelos, entre 6,0 y 6,7. La retención de P se encuentra sobre 90%, además de cumplir con el resto de las propiedades ándicas. Todas las Fases de las diferentes Series de Suelos tienen buen drenaje y no se han descrito rasgos redoximórficos en ningún suelo. La homogeneidad de las propiedades descritas también se manifiesta en la clasificación taxonómica de los suelos, de tal manera que todos ellos son Haploxerands. Solamente el suelo Maulecura califica para las propiedades vítricas, pues posee más de 80% de vidrios volcánicos y tiene una retención de P entre 38 y 53%, por lo cual se ha clasificado como Vitrixerand. Para este análisis, además de la Serie Maulecura, se han utilizado las Series Bramadero, Diguillín y Radal. En el Cuadro 4-20 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de la Serie Diguillín (Humic Haploxerand), considerada como representativa de este grupo.

Cuadro 4-20. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil representativo de la Serie Diguillín (CIREN, 1997b)

| Profundidad (cm) | | 0 - 18 | 18 - 49 | 49 - 85 | 85 - 100 + |
|--|----|----------------|-----------------|---------|------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | A _p | A ₁₂ | AB | B |
| 2-1 | | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,1 |
| 1-0,5 | | 1,5 | 0,7 | 0,3 | 0,7 |
| 0,5-0,25 | | 2,8 | 2,0 | 0,8 | 1,8 |
| 0,25-0,10 | | 4,8 | 3,9 | 1,8 | 3,4 |
| 0,10-0,05 | | 7,3 | 6,3 | 3,0 | 5,4 |
| 2-0,05 | | 16,5 | 12,9 | 5,9 | 11,4 |
| 0,05-0,002 | | 51,7 | 62,2 | 60,9 | 42,0 |
| < 0,002 | | 31,8 | 24,9 | 33,2 | 46,6 |
| Clase textural | | FAL | FL | FAL | AL |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 48,0 | 66,0 | 65,0 | 45,0 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | | 28,0 | 39,0 | 40,0 | 25,0 |
| pH _{agua} | | 6,3 | 6,5 | 6,4 | 6,2 |
| Carbono orgánico (%) | | 6,0 | 5,3 | 4,1 | 1,5 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 11,4 | 10,4 | 6,8 | 6,7 |
| | Mg | 1,1 | 1,4 | 1,0 | 1,2 |
| | K | 1,1 | 0,5 | 0,5 | 0,4 |
| | Na | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | | 13,7 | 12,5 | 8,4 | 8,3 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | | 39,8 | 41,6 | 36,8 | 35,9 |
| Saturación de bases (%) | | 34,0 | 30,0 | 23,0 | 23,0 |
| Retención de P (%) | | 91,0 | 95,0 | 97,0 | 97,0 |
| Al ox (%) | | 2,78 | 2,95 | 2,79 | 3,15 |
| Fe ox (%) | | 0,36 | 0,33 | 0,38 | 0,41 |
| Al ox + ½ Fe ox (%) | | 2,95 | 3,12 | 2,98 | 3,36 |

4.4.3 Región de Bío-Bío (36°00' - 37°45' aprox.)

Suelos en terrazas aluviales. En esta Región se ha descrito una cantidad importante de suelos que se encuentran en esta posición y que, además tienen su origen en procesos aluviales. Todos los suelos descritos están asociados a los ríos actuales, incluso a esteros de menor importancia; pocos casos se identifican asociados a terrazas remanentes y cursos de agua no existentes en el presente. Una de sus características esenciales es que poseen pendientes muy suaves o poseen una topografía plana, es decir, las pendientes son de 0 a 1% o como máximo 1 a 3%. Se han considerado también en este grupo a suelos con pendientes muy superiores y que corresponden a las caídas de las terrazas hacia los cursos aluviales, en el caso de las terrazas altas de los valles. Se han incluido también en este grupo a suelos que ocupan planos de inundación en sectores intermontanos, por representar un origen semejante. Como se puede esperar, el sustrato más frecuente está constituido por gravas redondeadas con arena intersticial, aun cuando se han descrito sustratos solamente de arenas estratificadas; o bien en otros casos, el material intersticial entre las gravas es franco arenoso o franco arcillo arenoso. En varios suelos no se describió el sustrato, pues no fue visible hasta la profundidad de observación.

Los colores de los horizontes superficiales son pardo oscuro, pardo grisáceo oscuro o pardo rojizo oscuro en los matices 10YR, 7.5YR o 5YR; solamente en aquellos suelos que presentan un régimen de humedad ácuico, los colores pueden variar en valor y croma (Munsell), manteniéndose en los mismos matices, es decir gris oscuro (4/1), gris parduzco claro (5/2), gris muy oscuro (3/1). En los horizontes más profundos, se mantienen los mismos matices y los valores y cromas se hacen más oscuros. Como se debería esperar, a causa del origen de los suelos, las clases texturales en superficie y en los horizontes subsuperficiales son muy variables. Las clases texturales descritas para los epipedones son franco limosa, franco arcillosa, franco arenosa, franca, areno francosa, arcillo limosa, franco arenosa muy fina. En los horizontes más profundos también se puede apreciar una gran variabilidad, sin embargo son más frecuentes las clases texturales gruesas, tales como arenosa gruesa, arenosa y areno francosa. La estructura dominante en todos los perfiles es de bloques subangulares finos, medios y gruesos, desde débiles hasta fuertes. En aquellos horizontes en que domina la fracción arena, el grado de no estructura se describe generalmente como de grano simple. Se trata de suelos profundos y muy profundos, esto es de 140 a 160 cm. Algunos suelos se describieron como ligeramente profundos (50 a 75 cm) hasta el sustrato aluvial constituido por gravas con matriz gruesa, como ocurre con las Series Pedregales, Perquilauquén y Culenar.

A causa de las condiciones físicas de los perfiles, el sistema radical de la vegetación se desarrolla en buenas condiciones, de tal forma que se han descrito raíces finas y medias hasta el contacto con el sustrato. En algunos suelos no se encontraron raíces en los horizontes más profundos (160 cm), como ocurrió en las Series Llahuecuy, Macal Poniente y Tomeco. Las condiciones de drenaje están asociadas más bien a la posición que los suelos ocupan en el paisaje (terrazas altas o relieve cóncavo), que a la permeabilidad dentro del perfil, de manera que la mayoría de los suelos son bien drenados. Aquellos que se encuentran en sectores planos depresivos, pueden presentar drenaje moderado o imperfecto. En los casos más extremos se puede presentar un régimen de humedad ácuico, como ocurre en las Series Culenar, Changaral, Los Olmos y Los Sauces.

El contenido de CO es particularmente bajo en la mayoría de los suelos de este grupo, de tal manera que en los horizontes superiores son frecuentes los contenidos entre 1,5 y 2,5% y, en los horizontes más profundos en contacto con el sustrato, entre 0,1 a 0,5%. Como es esperable, la SB es variable, dada la gran dispersión de clases de materiales y de granulometría, de tal forma que se encuentran valores entre 36 y 100%, con una débil tendencia a que los valores más elevados se encuentren en los horizontes más profundos, sin llegar a constituir una norma. Los valores extremos de pH para todos los horizontes en todos los suelos son de 5,6 y 7,6. Los pH más elevados se han encontrado en la mayoría de los suelos, en los horizontes más profundos y en contacto con el sustrato. Los rasgos redoximórficos son comunes a abundantes desde la superficie en aquellos suelos que se han descrito con régimen de humedad ácuico (Series Culenar, Changaral, Paillihue, Santa Teresa, Los Olmos y Los Sauces). En otros suelos sólo se han descrito como ocasionales y en algunos horizontes, de tal manera que no identifican procesos de reducción importantes.

Se considera que la aptitud agrícola de estos suelos está gobernada por tres factores esenciales: la granulometría, la profundidad y el drenaje; evidentemente, no en ese orden ni tampoco simultáneamente. De esta manera, las Clases de Capacidad de Uso son variables, dependiendo de la limitante más severa que evidencia el suelo. Se han descrito Clases IIIs y IVs, IIIw, IVw hasta VIw. Sin embargo, en este grupo también se han descrito suelos con Clase II, lo cual evidencia una excelente aptitud. Desde el punto de vista taxonómico, Mollisols e Inceptisols son los Órdenes más representados y, en menor proporción, Entisols. Así, Haploxerolls, Haploxerepts y

Xerofluvents respectivamente, son los Grandes Grupos más comunes que se han descrito. Aquellos suelos con mal drenaje y que presentan endosaturación, se han clasificado como Endoaquolls, Endoaquepts y Endoaquents.

Para este análisis se han considerado, además de las Series ya mencionadas, a las Series Anilehue, Cabrero, Coigüe, Confluencia, Chacaico, Dadinco, Duqueco, Ninhue, Quillón, El Manzano, Huapi, Los Tilos, Llahuén (figuras 4-28 y 4-29, al final del Capítulo) y Manquel. En el Cuadro 4-21 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de la Serie Tomeco (Fluvaquentic Haploxeroll), considerada como representativa de este grupo.

Cuadro 4-21. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil representativo de la Serie Tomeco (CIREN, 1999)

| Profundidad (cm) | 0 - 18 | 18 - 47 | 47 - 85 | 85 - 115 | 115 - 150 | |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A _p | A ₂ | B ₁ | B ₂ | C | |
| 2-1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | |
| 1-0,5 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | |
| 0,5-0,25 | 0,2 | 0,5 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | |
| 0,25-0,10 | 1,2 | 1,8 | 1,6 | 1,7 | 2,4 | |
| 0,10-0,05 | 10,6 | 11,7 | 9,4 | 12,5 | 19,4 | |
| 2-0,05 | 12,5 | 14,6 | 11,6 | 14,8 | 19,4 | |
| 0,05-0,002 | 50,5 | 54,2 | 53,0 | 50,0 | 47,6 | |
| < 0,002 | 36,9 | 31,2 | 35,4 | 34,7 | 33,0 | |
| Clase textural | FAL | FAL | FAL | FAL | FA | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,29 | 1,07 | 1,11 | 1,10 | 1,18 | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 33,8 | 29,3 | 32,2 | 32,0 | 33,2 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 17,0 | 16,8 | 18,8 | 18,4 | 18,3 | |
| pH _{agua} | 7,1 | 7,2 | 7,4 | 7,5 | 7,6 | |
| Carbono orgánico (%) | 1,9 | 0,54 | 0,85 | 0,82 | 0,85 | |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 11,6 | 10,3 | 11,5 | 11,1 | 11,2 |
| | Mg | 8,92 | 8,35 | 8,8 | 8,59 | 8,55 |
| | K | 0,30 | 0,23 | 0,34 | 0,33 | 0,31 |
| | Na | 0,34 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,26 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 21,2 | 19,1 | 20,8 | 20,2 | 20,4 | |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 26,1 | 23,5 | 26,8 | 27,0 | 26,4 | |
| Saturación de bases (%) | 81,0 | 81,0 | 78,0 | 75,0 | 77,0 | |
| Retención de P (%) | 32,0 | 27,0 | 35,0 | 25,0 | 28,0 | |

Suelos sobre toba volcánica. Además de la presencia de una toba volcánica como sustrato de estos suelos, también es característico de ellos su relieve plano o casi plano o cóncavo, con pendientes de 0 a 1% o bien de 1 a 3%. En cambio, la unidad geomorfológica en la que se encuentran, puede ser variable, pues se han descrito sobre abanicos piroclásticos (Abanico de San Carlos), terrazas remanentes, paisajes lacustrinos y planos depositacionales deprimidos. Se trata de suelos de clases texturales medias y finas en los horizontes superficiales (franco arcillosa, franca, franco arcillosa limosa) que se hacen más finas hacia los horizontes más profundos inmediatamente sobre la toba, esto es principalmente arcillosa. La profundidad de los suelos se ha

medido hasta la aparición de la toba, la cual se puede encontrar desde 110 hasta 130 cm y, en los casos de suelos delgados aparece entre los 50 y los 80 cm.

El color de los horizontes superficiales varía principalmente en los matices 5YR y 10YR, ya sea pardo rojizo oscuro o pardo grisáceo oscuro. En profundidad aumenta el valor (Munsell) con lo cual los colores se hacen más grises y pálidos. En casi todos los suelos considerados en esta categoría, la estructura es de bloques subangulares medios moderados en los horizontes superficiales, la cual desaparece en los horizontes que se encuentran en contacto con la toba, y se describe como masiva. Dadas las características morfológicas descritas, es muy lógico considerar que los sistemas radicales adquieren un desarrollo limitado, de tal forma que se han descrito raíces escasas u ocasionales y muchas veces inexistentes en los horizontes en contacto con la toba. El drenaje es moderado, imperfecto y pobre, dependiendo de la Fase que se considere; en todo caso constituye una limitante para su uso. Además, la presencia de rasgos redoximórficos, de comunes a abundantes y desde la superficie en prácticamente todos los suelos, constituye la evidencia de los problemas de drenaje de estos suelos. El contenido de CO es bajo en los horizontes superficiales, de 0,6 a 1,5%; solamente la Serie Santa Clara alcanza un valor mayor, 3,2%. En profundidad, es claramente inferior, 0,3 y 0,1%, en todos los suelos. La SB es siempre superior en los epipedones, desde 47% a 68%, y aumenta hacia el contacto con la toba, con valores desde 75 a 95%. El pH se hace más alcalino hacia los horizontes inferiores, desde 5,9 a 6,1 en superficie hasta 6,9 a 7,5 en profundidad.

Las propiedades descritas determinan que estos suelos presenten limitaciones moderadas a severas en su uso, por lo que las Clases de Capacidad de Uso varían entre IIIw y VIw. Desde el punto de vista taxonómico, existe gran variabilidad, pues los suelos descritos se han clasificado en los Órdenes Vertisols, Inceptisols, Alfisols y Mollisols. Es probable que la diversidad de unidades geomorfológicas en las que se han descrito, sea una de las razones que han definido las diferentes direcciones en la pedogénesis de los materiales originales. Para esta discusión, además de la Serie Santa Clara ya mencionada, se han utilizado las Series Canosa (figuras 4-30 y 4-31, al final del Capítulo), Huenutil, Parral, Quella, Tiuquilemu y Villaseca.

En el Cuadro 4-22 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de la Serie Santa Clara (Vertic Duraquoll) considerada como representativa de este grupo.

Cuadro 4-22. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil representativo de la Serie Santa Clara (CIREN, 1999)

| Profundidad (cm) | 0 - 13 | 13 - 25 | 25 - 53 | 53 - 89 |
|--|----------------|----------------|----------------|---------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | B ₁ | B ₂ | BC |
| 2-1 | 3,7 | 3,3 | 2,6 | 2,5 |
| 1-0,5 | 9,8 | 8,8 | 8,0 | 7,5 |
| 0,5-0,25 | 12,2 | 10,4 | 9,3 | 9,6 |
| 0,25-0,10 | 8,9 | 8,3 | 7,5 | 8,2 |
| 0,10-0,05 | 5,3 | 4,4 | 7,8 | 4,0 |
| 2-0,05 | 39,9 | 35,2 | 32,2 | 31,7 |
| 0,05-0,002 | 6,4 | 16,4 | 19,1 | 21,1 |
| < 0,002 | 53,7 | 48,4 | 48,7 | 47,2 |
| Clase textural | A | A | A | A |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 27,0 | 36,0 | 37,0 | 36,0 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 16,0 | 22,0 | 23,0 | 24,0 |
| pH _{agua} | 6,0 | 6,0 | 6,8 | 7,5 |
| Carbono orgánico (%) | 3,2 | 0,9 | 0,5 | 0,3 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | | | | |
| Ca | 8,8 | 8,4 | 10,7 | 11,3 |
| Mg | 3,4 | 5,4 | 9,9 | 11,4 |
| K | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Na | 0,1 | 0,2 | 0,7 | 1,0 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 12,5 | 14,1 | 21,4 | 23,8 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 21,0 | 20,3 | 26,8 | 25,9 |
| Saturación de bases (%) | 59,0 | 69,0 | 80,0 | 92,0 |

Suelos sobre sedimentos fluvioglaciales. La posición que estos suelos ocupan en el paisaje, conjuntamente con los materiales que conforman el sustrato, constituyen las características principales que permiten identificarlos en terreno. De esta manera, se encuentran ocupando abanicos piroclásticos (San Ignacio y San Carlos), terrazas remanentes, lomajes suaves remanentes y piedmonts. Las pendientes varían entre 1 a 3%, 5 a 8% y en las condiciones más extremas se encuentran hasta 8 a 15%. El sustrato fluvioglacial se caracteriza por un conjunto de gravas subredondeadas y angulares frescas y con diferentes grados de meteorización, embebidas en una matriz arcillosa o arcillo arenosa que ocupa entre el 20 y el 40% en volumen. Los horizontes superficiales generalmente poseen colores rojizos, en los matices (7.5YR y 5YR), esto es, pardo rojizo y pardo rojizo oscuro. En algunos sectores de la Serie Collinco existe un depósito de cenizas volcánicas recientes en superficie cuyo espesor varía entre 12 y 42 cm (Kühne *et al.*, 2005). En profundidad los colores se hacen más rojos de tal manera que los colores rojo oscuro y pardo rojizo (en los matices 5YR y 2.5YR) son frecuentes. En los epipedones las clases texturales son finas, esto es, franco arcillo limosa, franco arcillosa y arcillosa. En todos los suelos descritos el contenido de la fracción fina se incrementa hacia los horizontes inferiores, en contacto con el sustrato. La estructura dominante es de bloques subangulares con diferente grado de expresión y solamente en algunos casos se han descrito prismas; en contacto con el sustrato, también se ha descrito la condición de no estructura maciza.

La profundidad de los suelos, a la que se encuentra el sedimento fluvioglacial, es muy variable, pues está relacionada con la intensidad del evento que dio origen a este último y a las condiciones topográficas originales. Los suelos más profundos se han descrito hasta los 140 ó 150 cm (Series

Trilico y Niblinto) y los más delgados tienen una profundidad que varía entre 47 y 52 cm; es el caso de las Series Carimay y Talquipén. De acuerdo a las características descritas, es esperable que las condiciones de drenaje sean también variables, de esta manera se han identificado suelos bien drenados, moderadamente bien drenados hasta imperfectamente drenados. El sistema radical está débilmente desarrollado y es frecuente que en los horizontes más profundos se describan raíces aisladas o bien no existan raíces de ninguna clase.

El CO presenta los mayores valores en los horizontes superficiales, los que pueden variar entre 1,8 y 5,1%, para disminuir hacia los horizontes inferiores, con valores de 0,7 hasta 0,2%. La SB siempre es baja en los epipedones y se incrementa hacia el sustrato, con valores que varían de 15 a 51% en superficie y entre 44 y 65% en los horizontes inferiores. El pH se mantiene entre 5,6 y 6,4 con una ligera tendencia a ser más alcalinos en profundidad. Los rasgos redoximórficos se han descrito de comunes a abundantes, a partir del segundo horizonte, solamente en aquellos suelos que se han identificado con problemas de drenaje. Solo en la Serie Cato se describió un nivel freático a los 80 cm de profundidad. La aptitud de estos suelos es limitada, de acuerdo a las propiedades que se han descrito, de tal manera que la mayoría de los suelos posee Clases IIIs, IIIw y IVs de Capacidad de Uso. A aquellas Fases que presentan las pendientes más fuertes se les ha asignado una Clase VIe. Taxonómicamente Xerepts y Xeralfs son los Subórdenes más comunes que se han identificado. Para este análisis se han utilizado, además de las Series ya mencionadas, las Series Bidico, Bulnes, Collinco, Collipulli (figuras 4-32 y 4-33 al final del Capítulo), Mirador, Trasval, Tres Esquinas y Virquén.

Suelos derivados de materiales volcánicos. El título de este sub-capítulo se plantea como *suelos derivados de materiales volcánicos* y no como *suelos volcánicos*, debido a que en esta Zona todavía no se encuentra la expresión máxima del desarrollo pedogénico de estos suelos. Sólo algunos suelos descritos en esta Zona presentan bien expresadas las características propias de los Andisols, tal como ocurre en las Series Mayulermo (Figura 4-34, al final del Capítulo) y Santa Bárbara (Typic Haploxerands).

Las principales posiciones geomorfológicas en las que se encuentran corresponden a abanicos aluviales, terrazas fluvio-glaciales y planos depositacionales. El sustrato puede ser de gravas y piedras con una matriz desde franco arenosa fina hasta arcillosa; en varios de los suelos considerados el sustrato no se describió hasta la profundidad de observación, que llegó a más de 160 cm. Los colores dominantes se encuentran en el pardo oscuro y pardo rojizo oscuro en los matices 5YR y 7.5YR, con un ligero incremento del valor y el croma (Munsell) hacia los horizontes inferiores, o sea hacia colores más luminosos. Las clases texturales son particularmente homogéneas de un suelo a otro y dentro de cada suelo, fluctuando entre franca, franco limosa y franco arenosa, y en casos muy particulares, areno francosa y arenosa como ocurre en las Series Coreo y Arenales (Figura 4-35, al final del Capítulo). La estructura es de bloques subangulares medios, débiles y moderados y sólo se describe como grano simple para las dos Series antes señaladas. En general, se trata de suelos profundos y muy profundos, esto es 150 a 160 cm y solamente en el caso de la Serie Lomas Atravesadas un sustrato de arenisca cementada limita la profundidad del suelo a 90 cm. Se trata de suelos bien drenados, tanto por la topografía como por su permeabilidad interna. El sistema radical está bien desarrollado, de tal forma que se describen raíces incluso hasta los 160 cm de profundidad.

En el Cuadro 4-23 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de la Serie Collipulli (Typic Rhodoxeralf), considerada como un suelo representativo de este grupo.

Cuadro 4-23. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil representativo de la Serie Collipulli (CIREN, 1999)

| Profundidad (cm) | 0 - 15 | 15 - 35 | 35 - 47 | 47 - 84 | 84 - 150 |
|--|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A _p | A ₃ | B ₁ | B ₁₂ | B ₁₃ |
| 2-1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,0 | 1,1 |
| 1-0,5 | 0,7 | 0,4 | 0,5 | 0,3 | 3,5 |
| 0,5-0,25 | 1,9 | 1,5 | 1,6 | 1,0 | 4,8 |
| 0,25-0,10 | 5,7 | 4,5 | 5,0 | 3,1 | 6,3 |
| 0,10-0,05 | 7,5 | 6,6 | 7,0 | 5,2 | 5,7 |
| 2-0,05 | 16,1 | 13,2 | 14,3 | 9,8 | 21,5 |
| 0,05-0,002 | 38,9 | 36,6 | 35,4 | 28,5 | 24,9 |
| < 0,002 | 45,0 | 50,2 | 50,3 | 61,7 | 53,6 |
| Clase textural | A | A | A | A | A |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,14 | 1,16 | 1,11 | 1,03 | 0,91 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 32,2 | 30,7 | 29,8 | 31,6 | 36,3 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 20,3 | 20,6 | 20,6 | 25,7 | 28,3 |
| pH _{agua} | 5,9 | 5,7 | 5,7 | 6,1 | 6,2 |
| Carbono orgánico (%) | 3,68 | 2,31 | 1,72 | 1,03 | 0,66 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | | | | | |
| Ca | 6,85 | 6,31 | 5,72 | 6,75 | 7,28 |
| Mg | 3,44 | 3,06 | 2,8 | 2,48 | 3,04 |
| K | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
| Na | 0,12 | 0,10 | 0,08 | 0,12 | 0,27 |
| Al | 0,14 | 0,35 | 0,73 | 0,15 | 0,03 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 10,51 | 9,52 | 8,63 | 9,38 | 10,63 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 29,3 | 30,5 | 25,7 | 20,8 | 19,7 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 10,65 | 9,87 | 9,36 | 9,53 | 10,66 |
| Saturación de bases (%) | 36,0 | 31,0 | 34,0 | 45,0 | 54,0 |
| Saturación de Al (%) | 1,3 | 3,5 | 7,8 | 1,6 | 0,3 |
| Retención de P (%) | 62,0 | 58,0 | 59,0 | 59,0 | 67,0 |

En todos los suelos que califican como Andisols, el contenido de CO es elevado en los epipedones, entre 5,4 a 9,2%, el que decrece regularmente con la profundidad hasta alcanzar valores de 0,1% a los 150 cm. Solamente en las Series Arenales y Coreo, ya señaladas, el CO varía entre 1,0 y 1,8%, respectivamente. La SB aumenta con la profundidad, desde valores de 20 a 30% en los epipedones hasta 85% en algunos suelos. En el caso de la Serie Trupán la SB decrece con la profundidad. El pH se mantiene uniforme en todos los suelos entre valores extremos de 5,4 y 6,7. A causa de las excelentes condiciones de drenaje, no hay evidencias de rasgos redoximórficos en los suelos tomados como ejemplo para este análisis.

En todos los suelos considerados las propiedades ándicas se encuentran dentro de los rangos propuestos (Soil Survey Staff, 2006); esto es, una Db ≤ 0,9 Mg m⁻³, una retención de P ≥ 85% y un contenido de [Al_{ox} + ½Fe_{ox}] ≥ 2%. Las Series Caillihue y Coreo cumplen con los requerimientos del Suborden Vitrand. En el caso de la Serie Arenales, si bien no cumple los requerimientos para ningún suborden de los Andisols, de acuerdo a los antecedentes analíticos

disponibles, se le considera como un suelo desarrollado a partir de arenas volcánicas andesíticas – basálticas, y es la razón por la que se ha incluido en este grupo.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisols) constituyen un grupo de suelos que, en su mayoría, presentan muy buena aptitud agrícola. Así, son frecuentes las Fases de Series que poseen Clase de Capacidad de Uso I y II, mientras que las Fases con Clases IV y VI se deben esencialmente a pendientes excesivas y riesgos de erosión. Las Series Coreo y Arenales tienen Clases IV y VI debido a su granulometría gruesa y muy gruesa. Para este análisis se han utilizado, además de las Series ya mencionadas, las Series Arrayán, Candelaria, Paicaví, Trupán y Yungay. En el Cuadro 4-24 se presentan las principales propiedades de la Serie Trupán (Humic Haploxerand), considerada como representativa de este grupo.

Cuadro 4-24. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil representativo de la Serie Trupán (CIREN, 1999)

| Profundidad (cm) | 0 – 15 | 15 – 32 | 32 – 57 | 57 – 96 | 96 – 116 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A _p | A ₁ | B ₁ | B ₂ | B ₃ |
| 2-1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| 1-0,5 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 1,0 |
| 0,5-0,25 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 1,0 | 1,9 |
| 0,25-0,10 | 2,0 | 2,1 | 1,5 | 2,8 | 4,2 |
| 0,10-0,05 | 10,5 | 7,2 | 5,8 | 8,7 | 12,4 |
| 2-0,05 | 13,4 | 9,9 | 7,9 | 12,9 | 19,5 |
| 0,05-0,002 | 60,6 | 62,1 | 64,7 | 66,8 | 66,8 |
| < 0,002 | 26,0 | 28,0 | 27,3 | 20,3 | 13,7 |
| Clase textural | FL | FL | FL | FL | FL |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 0,82 | 0,84 | 0,77 | 0,81 | 0,92 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 64,2 | 61,1 | 61,0 | 58,0 | 50,9 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 28,2 | 30,3 | 32,7 | 32,4 | 31,2 |
| pH _{agua} | 6,0 | 5,9 | 5,9 | 5,9 | 6,2 |
| Carbono orgánico (%) | 6,18 | 2,90 | 4,91 | 3,26 | 1,68 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | | | | | |
| Ca | 8,11 | 8,35 | 7,83 | 5,37 | 4,39 |
| Mg | 1,45 | 0,95 | 0,77 | 0,63 | 0,59 |
| K | 0,35 | 0,13 | 0,13 | 0,08 | 0,06 |
| Na | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,12 | 0,08 |
| Al | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,06 | 0,00 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 10,05 | 9,58 | 8,87 | 6,21 | 5,12 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 43,9 | 52,0 | 49,4 | 46,7 | 37,2 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 10,09 | 9,60 | 8,89 | 6,27 | 5,12 |
| Saturación de bases (%) | 23,0 | 18,0 | 18,0 | 13,0 | 14,0 |
| Retención de P (%) | 97,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Al ox + ½ Fe ox (%) | 3,82 | 4,30 | 4,60 | 4,65 | 4,11 |

4.5 Suelos de la Cordillera de la Costa

4.5.1 Regiones de Valparaíso y Metropolitana (32°00' – 34°00' aprox.)

Suelos de cerros en la Cordillera de la Costa. En estas Regiones, la Cordillera de la Costa está constituida esencialmente por el batolito granítico con algunas intrusiones de materiales básicos, mezclados de manera discontinua. De esta forma, el granito ha constituido la roca de origen de la mayoría de los suelos que se encuentra en esta formación y solamente en casos muy puntuales se ha descrito el material parental como *granito metamorfozido*, sin que en la descripción de los suelos aparezca una explicación al respecto. En otros casos, el sustrato ha sido descrito como arenisca cuarcífera o bien simplemente como gravas graníticas. Todos los suelos que pertenecen a este grupo han sido descritos con gravas angulares y subangulares a través de los perfiles, esencialmente de cuarzo. La topografía es de cerros, lo cual significa pendientes de 8 a 15%, de 20 a 30% hasta más de 50%; solamente en algunos sectores las pendientes pueden ser inferiores, de 5 a 8%, en el caso de suelos en posición de abanicos y piedmonts. El color que domina en los horizontes superficiales es el pardo rojizo oscuro en los matices 5YR y 7.5YR; en los horizontes más profundos, hacia el contacto con la roca granítica, el color se hace pardo rojizo en los mismos matices. La clase textural del horizonte superficial es generalmente franco arcillosa, variando entre franco arcillo arenosa y franco arcillo limosa. Hacia los horizontes más profundos se mantiene el alto contenido de arcilla, aun cuando aumenta la fracción gruesa, de tal manera que son frecuentes las clases texturales de arcillo arenosa inmediatamente sobre el sustrato. La estructura se mantiene de bloques subangulares medios y gruesos a través de los perfiles y generalmente se hace maciza inmediatamente sobre el sustrato.

Como se trata de una Formación que ha sufrido profundos procesos de erosión, la profundidad de los suelos suele ser variable. Se estima que los suelos que no han sufrido procesos de erosión severos son profundos y muy profundos (más de 120 cm hasta la roca o el sustrato) y aquellos con erosión severa no superan los 70 a 80 cm hasta el sustrato. Sin embargo, se han descrito sectores con suelos de menos de 50 cm de profundidad, en condiciones extremas. El sistema radical se desarrolla en buena forma con un decrecimiento gradual con la profundidad, hasta desaparecer en contacto con el sustrato. Dada la topografía que ocupan los suelos, presentan buen drenaje superficial.

La SB es variable de un horizonte a otro y de un suelo a otro, con valores extremos de 64-65% hasta 90-97%, sin una tendencia definida con la profundidad. El pH, en todos los horizontes de los suelos considerados, varía entre 6,0 y 6,6 y el contenido de CO₂, en los horizontes superficiales, varía entre 1,1 y 1,5%. En los horizontes más profundos se mantiene en 0,2%.

La limitante más importante para el uso de estos suelos está dada por la posición de cerros que ocupan en el paisaje y por las fuertes pendientes, por lo cual las Clases de Capacidad de Uso varían entre IV y VII. Desde el punto de vista taxonómico, domina el Gran Grupo Haploxeralf y en menor proporción Haploxeroll. Para este análisis se han tomado en consideración las Series de Suelos Lo Vásquez (figuras 4-36 y 4-37, al final del Capítulo) y Viluma, además de las Asociaciones Macal y Mansel.

En el Cuadro 4-25 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de la Serie Lo Vásquez (Ultic Haploxeralf) considerada como representativa de este grupo.

Cuadro 4-25. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil representativo de la Serie Lo Vásquez (CIREN, 1997a)

| Profundidad (cm) | 0 - 18 | 18 - 32 | 32 - 43 | 43 - 57 | 57 - 78 |
|--|----------------|------------------|------------------|------------------|----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | B _{t21} | B _{t22} | B _{t23} | B ₃ |
| 2-1 | 4,8 | 4,0 | 4,9 | 4,7 | 3,8 |
| 1-0,5 | 11,5 | 9,5 | 9,4 | 12,4 | 12,5 |
| 0,5-0,25 | 10,6 | 9,9 | 9,5 | 12,1 | 12,4 |
| 0,25-0,10 | 13,9 | 12,5 | 13,3 | 14,5 | 14,3 |
| 0,10-0,05 | 15,0 | 11,0 | 11,0 | 13,1 | 12,3 |
| 2-0,05 | 55,8 | 46,9 | 48,1 | 56,8 | 55,3 |
| 0,05-0,002 | 29,4 | 24,7 | 21,1 | 14,0 | 27,5 |
| < 0,002 | 14,8 | 28,4 | 30,8 | 29,2 | 17,2 |
| Clase textural | Fa | FAa | FAa | FAa | Fa |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,6 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 21,0 | 24,0 | 22,0 | 22,0 | 20,0 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 9,0 | 9,0 | 12,0 | 12,0 | 11,0 |
| pH _{agua} | 6,6 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Carbono orgánico (%) | 1,1 | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 0,2 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | | | | | |
| Ca | 8,5 | 11,9 | 10,6 | 13,8 | 14,8 |
| Mg | 2,3 | 3,4 | 3,3 | 4,9 | 5,3 |
| K | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |
| Na | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 11,0 | 15,7 | 14,4 | 19,2 | 20,6 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 13,8 | 21,6 | 22,4 | 23,9 | 24,8 |
| Saturación de bases (%) | 79,7 | 72,7 | 64,3 | 80,3 | 83,1 |

Suelos en lomajes y terrazas costeras. En este grupo se ha incluido a todos aquellos suelos que se encuentran en posición de terrazas marinas, lomajes suaves próximos a los sectores costeros y terrazas remanentes, tanto de origen marino como aluvial, que se han formado en los valles próximos a la costa. La posición que ocupan estos suelos determina que sus pendientes sean también inferiores a la de los suelos de los cerros de la Cordillera de la Costa (figuras 4-38 y 4-39, al final del Capítulo), de tal manera que las pendientes más frecuentes son de 2 a 5%, 8 a 15% y solamente en algunos casos, las caídas pueden ser superiores a 30%, como ocurre en la Asociación Matanzas.

El sustrato más frecuente corresponde a arenas y areniscas graníticas, en algunos casos mezcladas con gravas de origen mixto. Solamente en la Serie Catapilco se describió un sustrato del tipo arcillolita. El color superficial dominante es el pardo oscuro en el matiz 7.5YR, y en algunos casos, es el pardo rojizo oscuro. Hacia los horizontes más profundos el valor y el croma (Munsell) aumentan, dando origen a colores pardo amarillentos. Las clases texturales dominantes son gruesas en los horizontes superficiales, tales como franco arenosa, areno francosa y más raramente franco limosa; sin embargo se ha podido apreciar que no existe ninguna tendencia clara hacia los horizontes más profundos, particularmente aquellos que se encuentran en contacto con el sustrato. De esta manera, las clases texturales que se han descrito para estos horizontes son arcillosa, arcillo arenosa, franco arcillosa, arenosa y areno francosa fina. En varios suelos se ha

descrito grava de cuarzo común a través de los perfiles, lo cual podría indicar el origen granítico de los materiales de partida.

La estructura más frecuente es de bloques subangulares medios y gruesos, la que generalmente cambia a maciza en los horizontes inferiores. La profundidad hasta el sustrato es variable, pues se han descrito suelos de 54 cm (Serie Catapilco) hasta 120 cm en el caso de la Serie Lingo-Lingo. Las raíces tienden a desaparecer con la profundidad, sin embargo aún se describen como escasas en la proximidad al sustrato. Todos los suelos considerados presentan buen drenaje y solamente ciertas Fases de algunas Series pueden presentar un drenaje imperfecto. En estas últimas se han descrito rasgos redoximórficos (masas y concreciones) desde escasos hasta comunes en los horizontes subsuperficiales.

La SB que presenta la mayoría de los suelos se encuentra entre los rangos corrientes para los suelos del sector, es decir entre 60 y 90% y solamente la Serie Tabolango se ha descrito con un horizonte con 32%, en forma excepcional. Los niveles de CO son particularmente bajos y no superan 1,5% en los horizontes superficiales y varían de 0,1 a 0,4% en los horizontes más profundos. El pH no evidencia la presencia de carbonatos ni sales, de tal forma que sus valores fluctúan entre 5,6 y 7,8. Se considera que la clasificación taxonómica de los suelos de este sector, conjuntamente con los análisis químicos y físicos, requiere a la fecha de una actualización, por lo que solo se puede señalar que los Órdenes más representados son Alfisol, Mollisol e Inceptisol.

Para el análisis de estos suelos se han tomado en consideración, además de las Series ya señaladas, a las Series Loncura, Longotoma, Santo Domingo, Tabolango y la Asociación La Manga.

En el Cuadro 4-26 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de la Serie Lingo-Lingo (Typic Haploxerept) considerada como representativa de este grupo.

Cuadro 4-26. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil representativo de la Serie Lingo-Lingo (CIREN, 1996a)

| Profundidad (cm) | 0 - 22 | 22 - 36 | 36 - 53 | 53 - 68 | 68 - 120 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | A ₃ | B ₁ | B ₂ | C |
| 2-1 | 8,5 | 9,6 | 5,0 | 3,3 | 8,1 |
| 1-0,5 | 20,4 | 31,4 | 24,4 | 14,6 | 24,0 |
| 0,5-0,25 | 15,3 | 17,5 | 20,6 | 18,9 | 14,9 |
| 0,25-0,10 | 16,1 | 10,9 | 11,4 | 12,7 | 9,0 |
| 0,10-0,05 | 12,2 | 7,4 | 8,3 | 7,8 | 9,0 |
| 2-0,05 | 72,5 | 76,8 | 69,7 | 57,3 | 61,4 |
| 0,05-0,002 | 17,2 | 15,8 | 14,6 | 21,9 | 13,1 |
| < 0,002 | 10,3 | 7,4 | 15,7 | 20,8 | 25,5 |
| Clase textural | Fa | Fa | Fa | FAa | FAa |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 10,0 | 8,0 | 11,0 | 18,0 | 15,0 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 4,0 | 4,0 | 6,0 | 10,0 | 9,0 |
| pH _{agua} | 6,1 | 6,5 | 6,6 | 6,2 | 5,7 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 1,1 |
| Carbono orgánico (%) | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | | | | | |
| Ca | 1,8 | 1,7 | 2,8 | 5,1 | 7,1 |
| Mg | 0,9 | 0,9 | 1,6 | 2,8 | 3,2 |
| K | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| Na | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,6 | 0,9 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 2,9 | 2,8 | 4,8 | 8,7 | 11,4 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 3,8 | 3,8 | 5,8 | 13,1 | 12,3 |
| Saturación de bases (%) | 76 | 74 | 83 | 66 | 93 |

4.5.2 Regiones de O'Higgins y Maule (34°00' - 36°00' aprox.)

Suelos de cerros en la Cordillera de la Costa. Se puede considerar que en estas Regiones se continúa con la mayoría de las características de los suelos de las Regiones anteriores (Valparaíso y Metropolitana), con la diferencia que comienzan a aparecer los materiales metamórficos, los cuales alcanzan su máxima expresión al sur del paralelo 37°45'. Por lo tanto, el Batolito granítico continúa siendo la formación geológica que ha dado origen a la mayor parte de los suelos que ocupan la posición de cerros (Figura 4-40, al final de Capítulo). En esta posición las pendientes más frecuentes son de 30 a 50% y solamente en el caso de lomajes adosados a los cerros de la Cordillera de la Costa, las pendientes pueden ser de 5 a 8% y de 15 a 20%.

El sustrato de los suelos es roca granítica con diferentes grados de meteorización, o bien gravas de origen granítico ricas en cuarzo con una matriz que puede ser franco arcillo arenosa. La profundidad de los suelos no es superior a los 100 cm, a pesar de la antigüedad de los suelos y de la profundidad de la meteorización, lo cual se podría explicar a causa de los intensos procesos de erosión a los que se encuentra sometida la mayor parte de la Cordillera de la Costa. Los colores de los horizontes superficiales se mantienen en los matices pardo rojizo oscuro (5YR y 7.5YR);

en los horizontes más profundos, el color se hace pardo rojizo en los mismos matices, con la excepción de la Asociación Piuchén, que alcanza matices 2.5YR. Las clases texturales son finas y muy finas, esto es franco arcillo arenosa, franco arcillosa y arcillosa. La profundidad de arraigamiento está acorde con la profundidad del sustrato; la estructura es comúnmente de bloques subangulares medios y gruesos fuertes y ocasionalmente maciza en profundidad.

Todos los suelos presentan buen drenaje, lo cual tiene relación con la topografía que ellos ocupan. Otras propiedades, tales como la SB, el contenido de CO y el pH se mantienen en los mismos rangos que los descritos para los suelos semejantes de las Regiones precedentes. Además, se mantiene como rasgo común la presencia de grava de cuarzo angular y facetada, de común a abundante a través de todos los horizontes. Desde el punto de vista taxonómico son principalmente considerados como Xerals, y en menor proporción como Xerepts. Las Clases de Capacidad de Uso más frecuentes son IV, VI y VII y solamente en contadas circunstancias se ha identificado una Clase III en aquellos sectores de lomajes con pendientes más suaves. Además de la Asociación Piuchén se han considerado para este análisis la Asociación Macal (que proviene de las regiones precedentes) y las Series Estancilla, Pumanque, Quinchamalal, Tregualemo y Lo Vásquez (de las regiones precedentes).

En el Cuadro 4-27 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de la Serie Pumanque (Typic Durixerpt) considerada como representativa de este grupo.

Cuadro 4-27. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil representativo de la Serie Pumanque (CIREN, 1996b)

| Profundidad (cm) | | 0 -12 | 12 - 24 | 24 - 38 | 38-58 | 58-82 |
|--|----|----------------|----------------|------------------|------------------|----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | A _p | B ₁ | B _{t21} | B _{t22} | B ₃ |
| 2-1 | | 2,5 | 2,3 | 1,4 | 2,2 | 19,0 |
| 1-0,5 | | 18,4 | 16,1 | 11,9 | 12,8 | 11,0 |
| 0,5-0,25 | | 20,8 | 19,4 | 16,0 | 12,1 | 8,0 |
| 0,25-0,10 | | 15,7 | 14,0 | 13,8 | 11,5 | 8,0 |
| 0,10-0,05 | | 8,7 | 8,6 | 8,8 | 7,2 | 5,3 |
| 2-0,05 | | 66,1 | 60,4 | 51,9 | 45,8 | 51,4 |
| 0,05-0,002 | | 21,1 | 20,8 | 18,0 | 17,7 | 16,7 |
| < 0,002 | | 12,8 | 18,9 | 30,1 | 36,5 | 31,9 |
| Clase textural | | Fa | Fa | FAa | Aa | FAa |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 13,0 | 15,0 | 16,0 | 16,0 | 13,0 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | | 6,0 | 7,0 | 9,0 | 11,0 | 9,0 |
| pH _{agua} | | 4,7 | 4,6 | 4,7 | 4,8 | 5,5 |
| Carbono orgánico (%) | | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,1 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 0,9 | 1,1 | 1,6 | 2,5 | 3,2 |
| | Mg | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 1,1 | 1,6 |
| | K | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |
| | Na | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | | 1,4 | 1,6 | 2,3 | 3,8 | 5,0 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | | 6,0 | 7,6 | 8,4 | 8,7 | 9,7 |
| Saturación de bases (%) | | 23,0 | 21,0 | 27,0 | 43,0 | 51,0 |

Es necesario destacar que los suelos de la Serie Tregualemo presentan propiedades ándicas bastante próximas a los límites para ser considerados como Andisol. La Db es de $0,9 \text{ Mg m}^{-3}$, la retención de P de 88% y el $[\text{Al}_{\text{ox}} + \frac{1}{2}\text{Fe}_{\text{ox}}]$ de 1,6%, por lo cual se ha considerado como un Inceptisol intergrado hacia Andisol. Es interesante la presencia de estas características en suelos de la Cordillera de la Costa, pues de alguna manera estarían indicando que las tefras provenientes de los centros volcánicos de la Cordillera de Los Andes habrían alcanzado, en alguna oportunidad, a los sectores costeros. Situaciones semejantes se repiten en la costa de más al sur de Chile, por lo cual este caso no se trataría de un fenómeno aislado, confirmando que la distribución de cenizas volcánicas ha sido extensa en dirección oeste. Se han planteado hipótesis para explicar la presencia de suelos con propiedades ándicas en estas áreas, sin que exista consenso entre los investigadores.

Ocupando la misma posición de cerros de la Cordillera de la Costa, se observan otros suelos, cuyo origen se encuentra en las rocas metamórficas que, a partir de esta latitud, comienzan a dominar el paisaje. Las condiciones texturales, de estructura, de topografía, relieve, profundidad al sustrato, distribución radical y drenaje son semejantes a las de los suelos de origen granítico. La diferencia morfológica más destacable la constituye el color que, en estos suelos, se hace notablemente más rojo, en el matiz 2.5YR, siendo común colores pardo rojizo oscuro (3/4), rojo (5/6) y rojo fuerte (3/6), especialmente en los horizontes inferiores (Figura 4-41, al final del Capítulo). Se trata además de suelos más desaturados, esto es con SB no superior a 50% en el perfil. La meteorización de la roca metamórfica también proporciona gravas cuarcíticas que se distribuyen irregularmente en los perfiles. La aptitud de estos suelos, en términos generales, es más bien forestal, por lo que las Clases de Capacidad de Uso más frecuentes son VI y VII. A causa de las características físicas, químicas y morfológicas, se les ha considerado principalmente como Rhodoxeralfs. Los suelos más representativos de este grupo lo constituyen las Asociaciones Alto Colorado, Curanipe y Constitución.

En el Cuadro 4-28 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de un perfil de la Asociación Constitución (Typic Rhodoxeralf) considerada como representativa de este grupo.

Cuadro 4-28. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil representativo de la Asociación Constitución (CIREN, 1997b)

| Profundidad (cm) | 0 - 25 | 25 - 55 | 55 - 90 | 90 - 150 | |
|--|----------------|-----------------|-----------------|----------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | B ₁₁ | B ₁₂ | C | |
| 2-1 | 7,4 | 4,9 | 2,5 | 1,9 | |
| 1-0,5 | 4,7 | 4,1 | 3,0 | 3,0 | |
| 0,5-0,25 | 3,6 | 3,3 | 3,1 | 6,4 | |
| 0,25-0,10 | 4,1 | 4,2 | 4,7 | 13,2 | |
| 0,10-0,05 | 5,0 | 4,0 | 4,9 | 8,2 | |
| 2-0,05 | 24,8 | 20,6 | 18,4 | 32,8 | |
| 0,05-0,002 | 44,1 | 41,4 | 42,4 | 37,2 | |
| < 0,002 | 30,0 | 38,2 | 39,2 | 30,0 | |
| Clase textural | FA | FA | FAL | FA | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 30,9 | 27,8 | 30,1 | 32,1 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 21,6 | 18,5 | 20,6 | 21,1 | |
| pH _{agua} | 5,4 | 5,4 | 5,5 | 5,4 | |
| Carbono orgánico (%) | 2,55 | 0,68 | 0,28 | 0,25 | |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 3,21 | 1,43 | 3,32 | 3,11 |
| | Mg | 1,84 | 1,03 | 2,30 | 3,21 |
| | K | 0,51 | 0,37 | 0,16 | 0,06 |
| | Na | 0,09 | 0,06 | 0,07 | 0,07 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 5,65 | 2,88 | 5,85 | 6,44 | |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 19,29 | 11,82 | 11,76 | 15,98 | |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 6,14 | 4,94 | 6,85 | 8,54 | |
| Saturación de bases (%) | 29,0 | 25,0 | 50,0 | 40,0 | |

Suelos en lomajes y terrazas costeras. Se ha incluido en este grupo a aquellos suelos que se encuentran en posición de terrazas de origen marino o aluvial muy próximas a la costa, así como a suelos de lomajes suaves también en sectores costeros. A diferencia del grupo de suelos anterior, las pendientes pueden ser de 1 a 3% y de 2 a 5% y solamente en forma excepcional, en las caídas de las terrazas, pueden llegar a 8 a 15% y 15 a 20%. De acuerdo a la información que se dispone, no es posible establecer una clara diferenciación en cuanto al sustrato o bien al material de origen, pues se han descrito variados sustratos, tales como *areniscas*, *gravas cuarcíferas* y *sedimentos marinos*. A pesar de estas condiciones dispares de origen, se ha optado por dejar a estos suelos en una sola categoría, considerando que la posición que ocupan es más relevante desde el punto de vista de su uso y manejo. Los colores superficiales varían entre el negro y el pardo rojizo oscuro, mientras que en profundidad varían entre el pardo rojizo oscuro y el pardo grisáceo oscuro. Las clases texturales varían entre franco arenosa y franco arcillo arenosa en los epipedones; desde franco arcillo limosa a arcillo limosa en los horizontes más profundos. Los suelos son profundos y muy profundos (se han descrito hasta más de 120 cm) sobre los sustratos ya señalados. Presentan una buena condición de arraigamiento, ya que se han descrito raíces finas y medias comunes en los horizontes más profundos. A causa de la posición que ocupan y las pendientes, varias Fases se han descrito con drenaje moderado a imperfecto e incluso algunas como pobremente drenadas.

La SB es variable y se han identificado valores extremos entre 19 y 72%. En igual forma, el contenido de CO es variable, pero en este caso se mantiene en valores bajos, entre 1,6 y 3,4% en superficie y bajo 0,5% en los horizontes inferiores. El pH está bajo 6,5 y en el caso de la Serie Carampangue alcanza 4,6 en el epipedón. Dadas las condiciones de drenaje imperfecto y pobre, no es de extrañar que se hayan descrito rasgos redoximórficos comunes a abundantes, inmediatamente debajo del horizonte superficial. En algunos suelos se han descrito también gravas cuarcíticas comunes en los perfiles. Si bien existen diversas Fases en los suelos descritos, la Clase de Capacidad de Uso que mejor representa a este grupo es la Clase IV. A los suelos con mejor aptitud agrícola se les ha asignado Clase III y a aquellos con las mayores limitaciones la VI, principalmente por sus condiciones de drenaje. La clase taxonómica que mejor representa a estos suelos, por su morfología y grado de desarrollo corresponde al Orden Inceptisol. A causa de la escasez de datos físicos y químicos, no es posible obtener una mayor precisión taxonómica. Además de la Serie Carampangue, se han utilizado para este análisis las Series Pilpoy, San Pedro de Alcántara, Buchupureo, Cobquecura, Chanco y las Asociaciones Rosario y Matanzas.

En el Cuadro 4-29 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de un perfil de la Asociación Matanzas (Oxic Haplustoll), considerada como representativa de este grupo.

Cuadro 4-29. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil representativo de la Asociación Matanzas (CIREN, 1996b)

| Profundidad (cm) | 0-20 | 20-64 | 64-95 |
|--|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A₁ | B₂₁ | B₂₂ |
| 2-1 | 0,00 | 0,05 | 0,43 |
| 1-0,5 | 0,69 | 0,70 | 1,82 |
| 0,5-0,25 | 6,40 | 6,49 | 7,64 |
| 0,25-0,10 | 19,14 | 16,43 | 14,21 |
| 0,10-0,05 | 21,11 | 15,78 | 13,35 |
| 2-0,05 | 47,35 | 39,46 | 37,44 |
| 0,05-0,002 | 37,27 | 42,95 | 44,40 |
| < 0,002 | 15,17 | 17,49 | 18,05 |
| Clase textural | F | F | F |
| pH _{agua} | 5,82 | 6,42 | 6,76 |
| Carbono orgánico (%) | 2,17 | 1,52 | 0,39 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | | | |
| Ca | 7,85 | 9,06 | 5,16 |
| Mg | 4,30 | 3,90 | 4,38 |
| K | 1,23 | 0,69 | 0,31 |
| Na | 0,40 | 0,38 | 0,85 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 13,78 | 14,03 | 10,70 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 17,40 | 16,89 | 12,58 |
| Saturación de Na (%) | 2,3 | 2,2 | 6,8 |
| Saturación de bases (%) | 79,0 | 83,0 | 85,0 |

4.5.3 Región de Bío-Bío (36°00' – 37°45' aprox.)

Suelos de cerros de la Cordillera de la Costa. El relieve es pronunciado, con pendientes que varían de 5 a 8% y de 8 a 15% en los sectores de lomajes; de 30 a 50% y más de 50% en las áreas de cerros propiamente tales. El material parental corresponde a roca metamórfica, con diferentes grados de meteorización, pero con su estructura esquistosa reconocible que aún se manifiesta en los horizontes inferiores de los suelos. Desde el punto de vista geográfico – fisiográfico, este sector constituye una prolongación de la VII Región del Maule, por lo que la división administrativa del país no coincide en este caso, necesariamente, con los rasgos del paisaje, como sí pudiera ocurrir en otros sectores del país. Continúan los colores rojos y pardo rojizos en el matiz 5YR, las clases texturales finas y muy finas, generalmente con un incremento de la fracción fina hacia los horizontes inferiores. La profundidad de los suelos generalmente es superior al metro, las estructuras son de bloques subangulares medios fuertes y la distribución de raíces finas y medias es de comunes a abundantes en contacto con la roca subyacente.

La SB es muy variable y puede fluctuar entre 9 y 80% en el horizonte superficial y entre 30 y 90% en los horizontes más profundos. El CO varía entre 1,0 y 5,5% en los epipedones y el pH entre 5,4 y 6,5. Al igual que en los otros suelos derivados de los mismos materiales parentales, son frecuentes las gravas cuarcíticas a través de todo el perfil. De acuerdo a la posición que ocupan y a sus propiedades físicas y químicas, son suelos mayoritariamente de aptitud forestal, razón por la cual se les ha asignado Clases de IV a VII de Capacidad de Uso. Con la excepción de la Serie Tregualemo, considerada como un Inceptisol intergrado hacia Andisol, al resto de los suelos, de extensión mayoritaria, se les ha clasificado como Haploxeralfs y Rhodoxeralfs. Para este análisis se ha considerado a las Series Tregualemo, Pantoja y la Asociación Constitución (Cuadro 4-28).

Suelos en lomajes y terrazas costeras. Los suelos de estos lomajes y terrazas tienen en común la posición fisiográfica en que se encuentran, si bien es cierto que su formación puede tener origen en la sedimentación marina o aluvial. Además, se trata de suelos planos o casi planos cuyas pendientes más frecuentes son de 0 a 1% y de 1 a 3% y solamente algunas Fases de algunos suelos pueden tener pendientes superiores, de 5 a 8%. El sustrato que se encuentra generalmente a más de 120 cm de profundidad, se ha descrito, en la mayor parte de los casos, como constituido por arenas o areniscas en su mayoría ricas en cuarzo. (Figura 4-42, al final del Capítulo). Solamente en el caso de la Serie Laraquete los suelos son delgados, de 42 cm hasta el sustrato de arenas. Al igual que ocurre con los suelos de los cerros en la Cordillera de la Costa, esta formación de lomajes y terrazas costeras constituye una prolongación de la misma formación que proviene de la Región del Maule, muchos de cuyos suelos se continúan hacia la Región del Bío-Bío (Figura 4-43, al final del Capítulo). En superficie dominan los colores pardo oscuros y pardo rojizo oscuros en los matices 10YR, 7.5YR y hasta 5YR. En los horizontes más profundos generalmente, el valor y el croma (Munsell) son más altos, tomando el color de los materiales del sustrato.

El origen de los suelos determina que las clases texturales sean variables, de tal forma que en los horizontes superficiales se puede encontrar clases tales como areno francosa, franco arenosa, franco limosa y franco arcillo limosa. Sin embargo, dentro de cada suelo el perfil textural en profundidad resulta bastante homogéneo, de tal manera que las mismas clases texturales de la superficie se pueden encontrar en los horizontes más profundos. La estructura que domina es de bloques subangulares en sus diferentes tamaños y grados; sólo en algunos casos es débilmente prismática en profundidad. Las raíces finas llegan sin dificultad hasta el sustrato, en particular en

aquellos suelos que presentan un drenaje libre. Al respecto, es interesante notar que se observa una relación entre la clase de drenaje, la posición y el origen del suelo; de esta forma los suelos en posición de terrazas marinas se han descrito con buen drenaje y con perfiles sin evidencias de rasgos redoximórficos; en cambio, aquellos que se encuentran en terrazas aluviales presentan numerosas Fases con drenaje imperfecto y pobre, con rasgos redoximórficos de comunes a abundantes desde los horizontes superficiales.

Un rasgo común a todos estos suelos lo constituye la baja SB, particularmente en los horizontes superficiales, con valores de 6 hasta 11%. Sin embargo, la SB de la Serie Buchupureo, se asocia más a los valores de los suelos en terrazas marinas. La característica común a todos ellos es que la SB aumenta hacia los horizontes inferiores, hasta valores de 75 y 80%. El contenido de CO mantiene la tendencia normal tanto para los suelos de origen marino como aluvial, esto es, los mayores valores se encuentran en los epipedones, con un decrecimiento gradual en profundidad, (3,4 hasta 0,2%). El pH fluctúa entre 5,1 y 6,5 en los diferentes horizontes, sin que exista una tendencia clara con la profundidad. Solamente en los suelos de la Serie Miramar, que presenta un drenaje pobre, se alcanza un pH de 8,4 en el horizonte próximo al sustrato (120 cm). Las Clases de Capacidad de Uso de las diferentes Fases varían entre III y IV, esencialmente a causa de la mayor o menor limitación por drenaje. No existen antecedentes suficientes para establecer una sistematización taxonómica definitiva, por lo que se asume que la mayoría de los suelos son Inceptisol y algunos presentarían propiedades que permitirían considerarlos como Mollisol. Además de las Series Laraquete y Miramar, se han utilizado para esta discusión las Series Antihuala, Las Puentes, Buchupureo, Carampangue y Cobquecura. Estas tres últimas representan su prolongación desde la Región del Maule.

En el Cuadro 4-30 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de un perfil de la Serie Buchupureo (Fluventic Haplustept), considerada como representativa de este grupo.

Cuadro 4-30. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil representativo de la Serie Buchupureo (CIREN, 1999)

| Profundidad (cm) | 0 - 20 | 20 - 54 | 54 - 90 | 90 - 120 |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A_p | B₁ | B₂ | B₃ |
| 2-1 | 0,3 | 0,5 | 0,0 | 0,1 |
| 1-0,5 | 1,1 | 0,9 | 0,3 | 0,7 |
| 0,5-0,25 | 3,6 | 3,7 | 2,2 | 2,6 |
| 0,25-0,10 | 8,6 | 12,1 | 12,8 | 7,3 |
| 0,10-0,05 | 12,2 | 20,3 | 22,7 | 12,6 |
| 2-0,05 | 25,9 | 37,6 | 38,1 | 23,5 |
| 0,05-0,002 | 56,4 | 48,7 | 47,4 | 58,3 |
| < 0,002 | 17,7 | 13,7 | 14,5 | 18,3 |
| Clase textural | FL | F | F | FL |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,24 | 1,15 | 1,08 | 0,91 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 32,1 | 26,9 | 29,6 | 29,2 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 11,8 | 10,2 | 10,8 | 12,4 |
| pH _{agua} | 5,6 | 6,2 | 6,4 | 6,5 |
| Carbono orgánico (%) | 1,59 | 0,85 | 0,78 | 0,94 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | | | | |
| Ca | 7,69 | 7,65 | 8,33 | 8,81 |
| Mg | 3,30 | 3,54 | 3,96 | 4,11 |
| K | 0,14 | 0,09 | 0,08 | 0,09 |
| Na | 0,15 | 0,15 | 0,17 | 0,18 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 11,28 | 11,43 | 12,54 | 13,19 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 18,39 | 15,97 | 16,64 | 19,67 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 11,35 | 11,43 | 12,54 | 13,19 |
| Saturación de bases (%) | 61,0 | 72,0 | 75,0 | 67,0 |



Figura 4-1. La Cordillera de Los Andes constituye el límite natural de Chile en el sector oriental. En ella se pueden describir abundantes sedimentos glaciales y volcánicos en los valles altos. Los suelos en posición de cerros, piedmonts y planos aluvio-coluviales presentan un desarrollo pedogénico interesante, pues la mayoría de ellos ha evolucionado hasta la formación de horizontes diagnósticos subsuperficiales (B) y epipedones mólicos.



Figura 4-3. Serie Bramadero. Suelo derivado de cenizas volcánicas que se distribuye aproximadamente a partir de 40 km hacia el este de la ciudad de Talca por camino a San Clemente. Se trata de suelos bien estructurados, con buena penetración radical, con un elevado contenido de carbono orgánico en los epipedones (sobre 5%) y un pH entre 6,0 y 6,5.

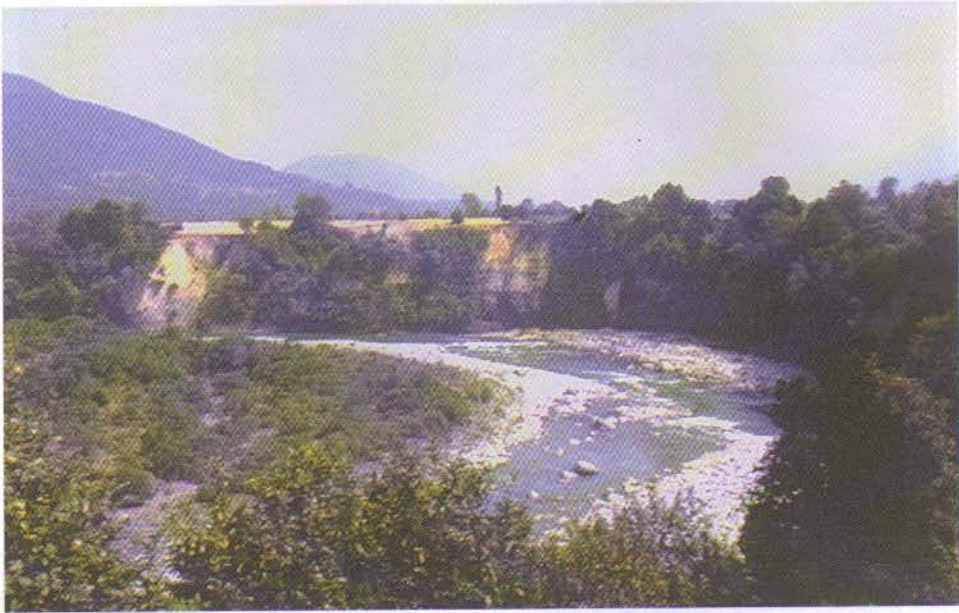


Figura 4-4. Muchos suelos que ocupan terrazas altas y lomajes suaves en la precordillera, son derivados de cenizas volcánicas holocénicas, cuyas propiedades químicas y físico-químicas son particularmente uniformes. Las pendientes que dominan son de 1 a 3% y de 2 a 5%; los suelos son profundos o muy profundos (≥ 120 cm). Solamente en algunos casos, puede presentarse un sustrato de gravas angulares y redondeadas a menos de 1 m de profundidad.

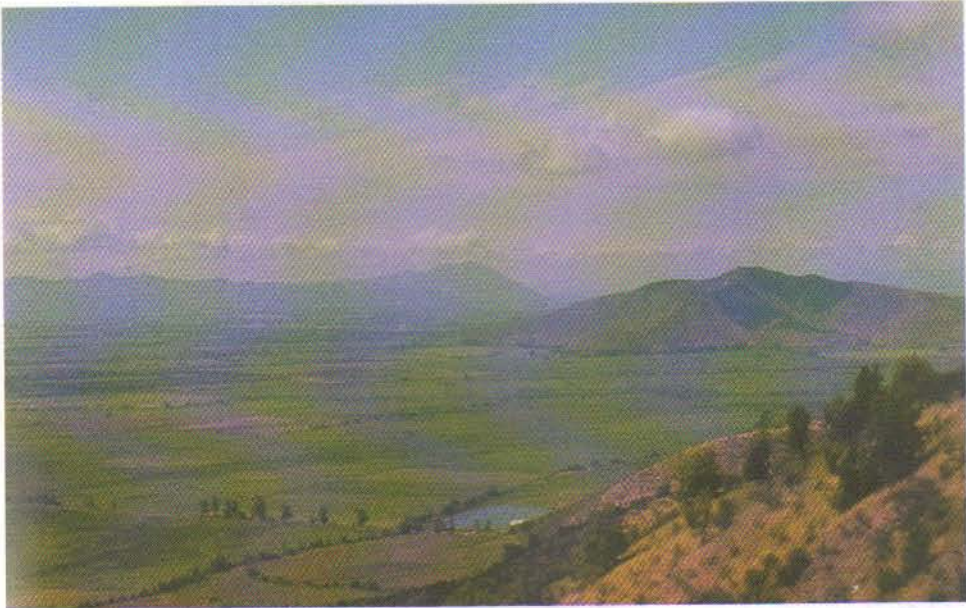


Figura 4-5. Los suelos de origen aluvial ocupan la posición de terrazas, abanicos y conos generados por la acción de las corrientes superficiales.



Figura 4-6. Serie Santiago. Los rasgos redoximórficos (enriquecimientos) que se aprecian en el sustrato de gravas redondeadas, se hacen evidentes en áreas con niveles freáticos fluctuantes. En este caso se relacionan con problemas de manejo más que con evidencias debidas a procesos pedogénicos.



Figura 4-7. Las plantaciones de frutales en posición de cerros se han incrementado considerablemente en los últimos años en las regiones de Valparaíso y Metropolitana. En la figura se pueden apreciar las plantaciones en pendientes superiores a 30%.



Figura 4-8. Sector que, cartográficamente, se encuentra en la Asociación Mansel. Corresponde a prolongaciones de los cerros de la Cordillera de Los Andes que se internan hacia la Depresión Intermedia, dando origen a lomajes suaves y cerros muy escarpados con pendientes superiores a 50%. Topográficamente presentan pendientes de 8 a 15%, de 15 a 20% y más de 50% en los sectores más escarpados.

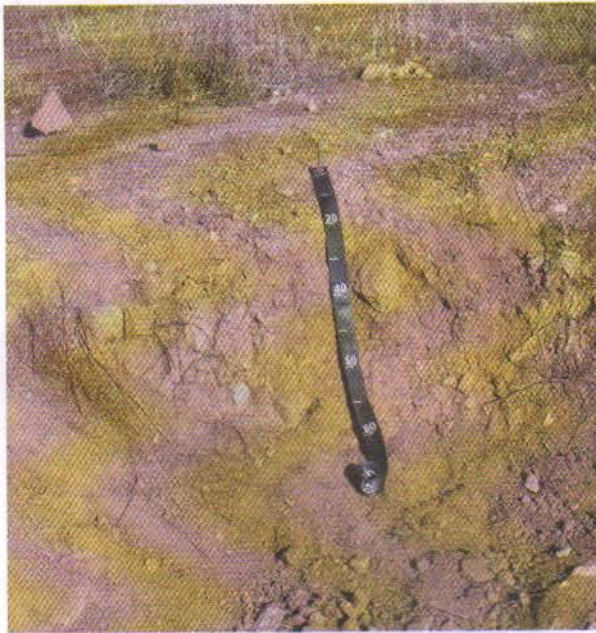


Figura 4-9. Perfil que caracteriza a suelos de la Asociación Mansel. Se trata de suelos ligera a moderadamente profundos sobre un sustrato constituido por rocas básicas del tipo andesitas y dioritas, con diferentes grados de meteorización. La pedregosidad angular y subangular es común a través del perfil y la rocosidad se hace abundante en las Fases con pendientes más escarpadas.

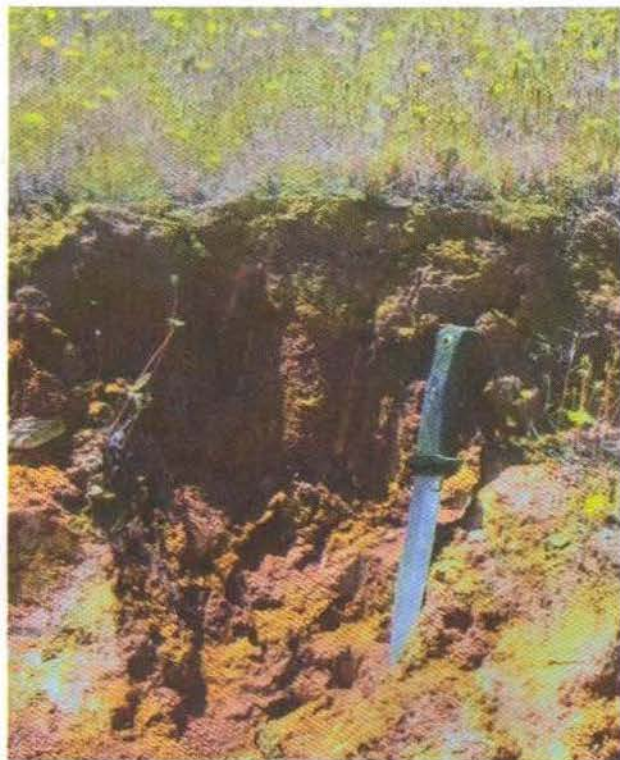


Figura 4-10. Los miembros de la Asociación La Lajuella son suelos de ligera a moderadamente profundos sobre un sustrato constituido por rocas básicas del tipo andesitas y dioritas, y también con intrusiones graníticas con diferentes grados de meteorización. Los colores en superficie son pardo oscuros en los matices 7.5YR y 10YR y en los horizontes más profundos puede llegar a un rojo amarillento (5YR4/8), como ocurre en el perfil de la fotografía.



Figura 4-11. La Asociación La Lajuella se presenta en pendientes de 8 a 15%, de 15 a 20% y más de 50% en los sectores más escarpados.



Figura 4-12. Suelos que ocupan una posición de piedmont y lomajes suaves en la V Región, entre los cerros y los valles intermontanos y, en su mayoría, sus materiales de origen provienen de los sedimentos transportados desde las partes más elevadas del relieve.



Figura 4-13. Perfil de la Serie Chicureo. Los epipedones pueden tener colores negros (10YR2/1; 2.5Y2.5/1). Todos los suelos considerados son de clases texturales finas, entre franco arcillosa, franco arcillo limosa, arcillo limosa y arcillosa, con muy escasa variación dentro de un mismo perfil.



Figura 4-14. Paisaje asociado a la Serie Chicureo. Estos suelos se caracterizan por una topografía plana o casi plana, que raramente presentan algunas Fases con pendientes de 2 a 5% y de 5 a 8%, cuando se asocian con los piedmonts que jalonan los valles.



Figura 4-15. Serie Pudahuel. Se presenta en un relieve de lomajes suaves con pendientes de 1 a 3% y de 2 a 5%, adosados a los piedmonts graníticos de la Cordillera de la Costa (Foto T. Reinsch).



Figura 4-16. Serie Pudahuel. Detalle del duripán silíceo (Foto T. Reinsch).



Figura 4-17. Perfil de la Serie Limanque. El sustrato está constituido, en la mayoría de los casos, por gravas redondeadas y subredondeadas de tamaño variable y en cantidad variable, con una matriz que es arenosa o franco arenosa.



Figura 4-18. Paisaje de la Serie Limanque. Se trata de suelos planos, con topografía que varía entre 1 y 2% y solamente, en algunos casos, con pendiente de 2 a 3%.



Figura 4-19. Perfil de la Serie Quella. Dominan las clases texturales finas, esto es arcillosa, franco arcillosa o bien arcillo limosa. Se pueden apreciar grietas abundantes, preferentemente verticales.



Figura 4-20. Paisaje de la Serie Quella. Se encuentra en las partes más deprimidas del paisaje, ya sean planos de inundación, cuencas de sedimentación o bien terrazas aluviales antiguas. Se trata de suelos que presentan una topografía plana (0 – 1%) y, sólo en algunas Fases la topografía puede ser casi plana (1 a 3%).



Figura 4-21. Perfil de la Serie Huenutil. La capa limitante se ha descrito como toba y brecha volcánica, hardpan cementado con Si y Fe, o bien arenisca cementada con Si. Se encuentra a profundidades variables, de tal manera que los suelos se han considerado desde ligeramente profundos hasta profundos.



Figura 4-22. Paisaje de la Serie Huenutil. Así como la posición que ocupan estos suelos en el paisaje no es homogénea, el relieve también es variable, de forma tal que se pueden encontrar en pendientes de 0 - 1%, 5 - 8% y hasta 8 - 15%.

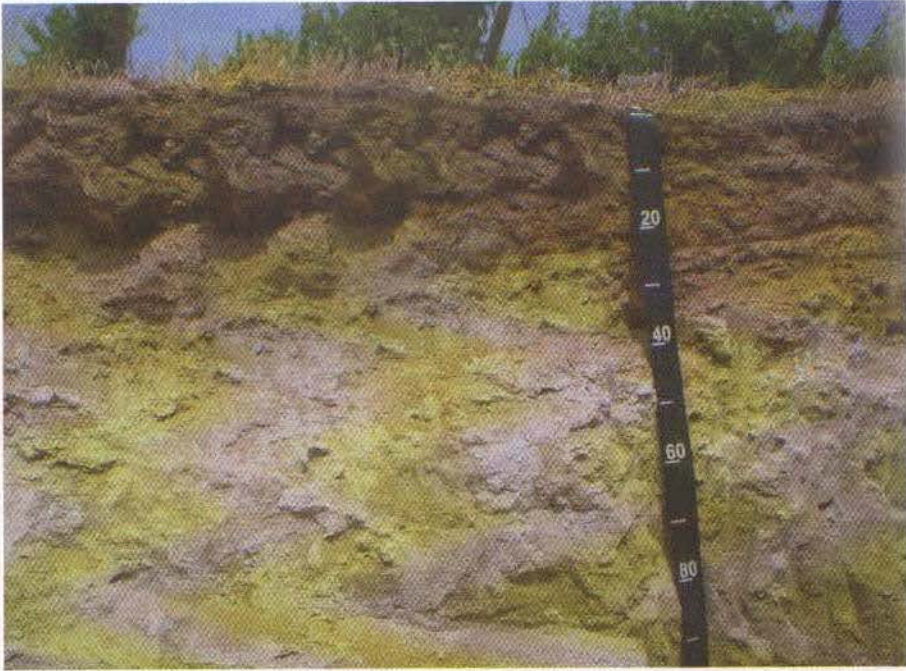


Figura 4-23. Muchos suelos que se han desarrollado sobre toba volcánica u otro sedimento compactado y cementado, como el que se encuentra en la Serie Quillayes, han influido para que el drenaje de los suelos sea imperfecto y en algunos casos pobre. Así, son frecuentes los rasgos redoximórficos, descritos de comunes a abundantes.



Figura 4-24. En la formación de los *Cerrillos de Teno*, los suelos presentan un sustrato fluvio-glacial conformado por clastos angulares y redondeados de muy variados tamaños y sin ninguna selección.



Figura 4-25. Paisaje de los sectores denominados *Cerrillos de Teno*. En las áreas de lomajes suaves, las pendientes más frecuentes son de 2 a 5% y de 5 a 8%.

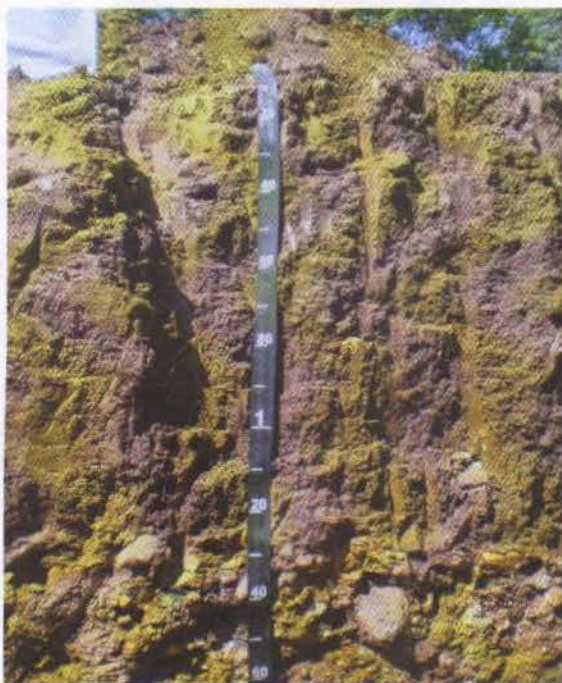


Figura 4-26. Perfil de la Serie Talca, sobre sedimentos fluvioglaciales. Las clases texturales de los epipedones varían entre franco arcillo arenosa, franco arcillosa y franco limosa. Hacia los horizontes inferiores siempre existe un incremento de la fracción fina, de manera que se pueden encontrar clases texturales franco arcillosa y arcillosa. A causa de la presencia del sustrato fluvioglacial, que actúa como limitante al paso del agua y de las raíces, es frecuente encontrar rasgos redoximórficos desde el segundo horizonte o bien desde la superficie.



Figura 4-27. Paisaje de un sector de la Serie Talca. Se trata de sectores de alta producción agrícola, tanto de cultivos anuales como de frutales y viñas.



Figura 4-28. Serie Llahuén. El sustrato más frecuente está constituido por gravas redondeadas con arena intersticial, aun cuando se han descrito sustratos solamente de arenas estratificadas. En el caso de la Serie Llahuén, el sustrato de origen aluvial, no fue visible hasta la profundidad de observación. El contenido de CO es bajo en la mayoría de los suelos, de tal manera que en los horizontes superiores son frecuentes los contenidos entre 1,5 y 2,5% y, en los horizontes más profundos alcanza valores entre 0,1 y 0,5%.

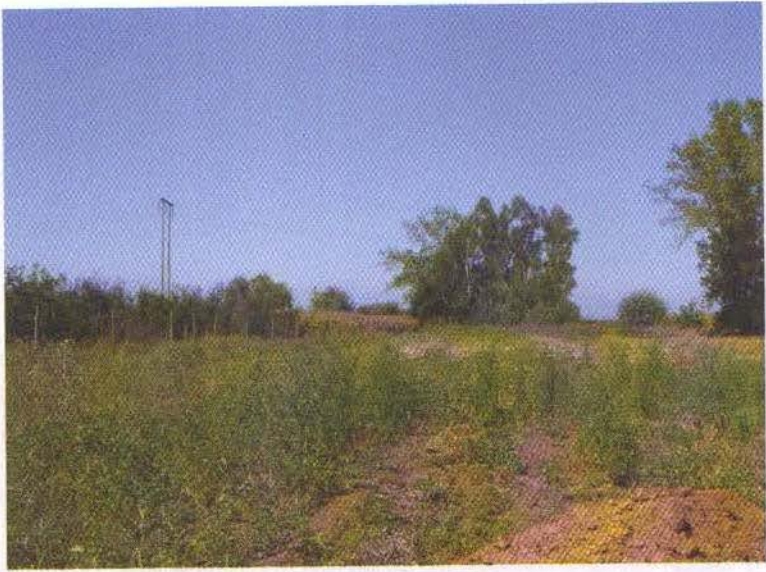


Figura 4-27. Paisaje de un sector de la Serie Talca. Se trata de sectores de alta producción agrícola, tanto de cultivos anuales como de frutales y viñas.



Figura 4-28. Serie Llahuén. El sustrato más frecuente está constituido por gravas redondeadas con arena intersticial, aun cuando se han descrito sustratos solamente de arenas estratificadas. En el caso de la Serie Llahuén, el sustrato de origen aluvial, no fue visible hasta la profundidad de observación. El contenido de CO es bajo en la mayoría de los suelos, de tal manera que en los horizontes superiores son frecuentes los contenidos entre 1,5 y 2,5% y, en los horizontes más profundos alcanza valores entre 0,1 y 0,5%.

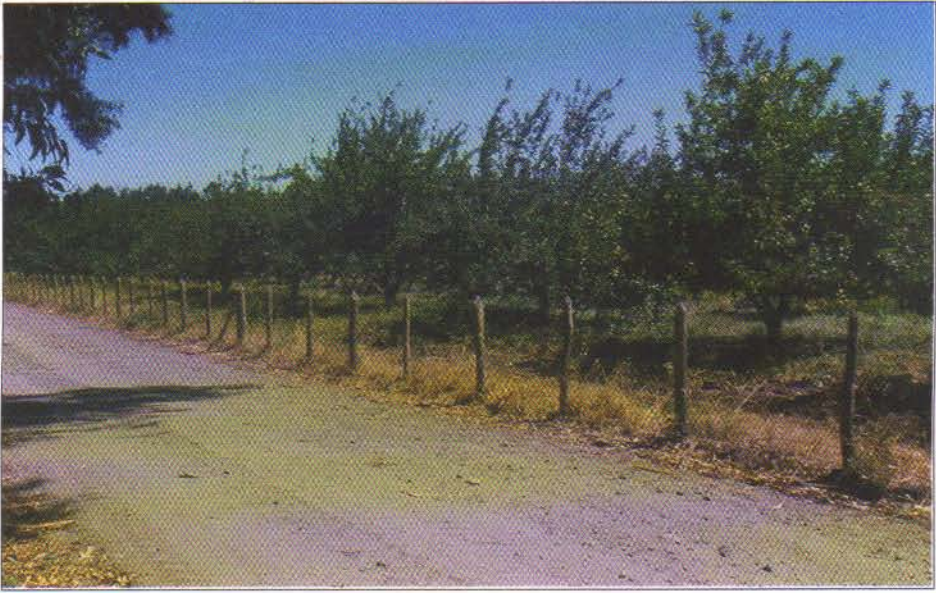


Figura 4-29. Paisaje de la Serie Llahuén. Una de sus características esenciales es su topografía plana, con pendientes de 0 a 1% ó como máximo 1 a 3%.



Figura 4-30. Perfil de la Serie Canosa. Las clases texturales son medias y finas en los horizontes superficiales (franco arcillosa, franca, franco arcillosa limosa) y se hacen más finas (arcillosa) hacia los horizontes más profundos, inmediatamente sobre la toba. La profundidad de los suelos es de 130 cm hasta la toba y, en las Fases delgadas, aparece entre los 50 y los 80 cm.



Figura 4-31. Paisaje de la Serie Canosa. Es característico su relieve plano, casi plano o cóncavo, con pendientes de 0 a 1% o bien de 1 a 3%. Principalmente se encuentra en terrazas remanentes, paisajes lacustrinos y planos depositacionales deprimidos.



Figura 4-32. Serie Collipulli. Los horizontes superficiales generalmente poseen colores rojizos, en los matices (7.5YR y 5YR). En profundidad los colores se hacen más rojos, de tal manera que son frecuentes los colores rojo oscuro y pardo rojizo (5YR y 2.5YR). En los epipedones las clases texturales son finas, esto es, franco arcillo limosa, franco arcillosa y arcillosa, y el contenido de la fracción fina se incrementa hacia los horizontes inferiores.



Figura 4-33. Detalle del sustrato fluvioglacial de la Serie Collipulli que se caracteriza por un conjunto de gravas subredondeadas y angulares frescas y con diferentes grados de meteorización, embebidas en una matriz arcillosa o arcillo arenosa que ocupa entre 20 y 40% del volumen.



Figura 4-34. Perfil de la Serie Mayulermo. Las principales posiciones geomorfológicas en las que se encuentra este suelo corresponde a abanicos aluviales, terrazas fluvioglaciales y planos depositacionales. El sustrato puede ser de gravas y piedras con una matriz desde franco arenosa fina hasta arcillosa, sin embargo, en varios sectores el sustrato no se alcanza hasta la profundidad de observación.



Figura 4-35. La Serie Arenales, si bien no cumple los requerimientos para ningún Suborden de los Andisols, de acuerdo a los antecedentes analíticos disponibles, se le considera como un suelo desarrollado a partir de arenas volcánicas andesíticas y basálticas. Las clases texturales varían entre areno francosa y arenosa como también ocurre en la Serie Coreo.



Figura 4-36. Perfil de la Serie Lo Vásquez. La Cordillera de la Costa está constituida esencialmente por el batolito granítico con algunas intrusiones de materiales básicos mezclados de manera discontinua. Se aprecia con claridad que el suelo se ha generado directamente de la meteorización de la roca granítica, que domina en todo el sector de la Cordillera de la Costa.

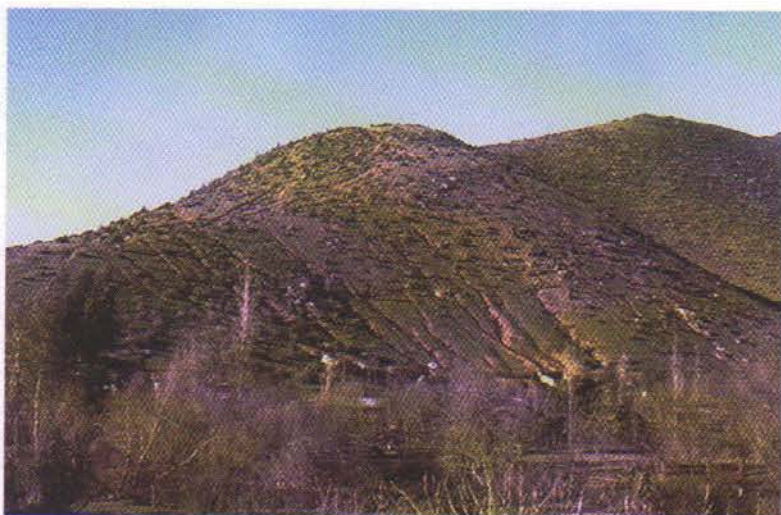


Figura 4-37. La Cordillera de la Costa ha sufrido profundos procesos de erosión, por lo que la profundidad de los suelos suele ser variable. Se estima que los suelos que no han sufrido procesos de erosión severos son profundos y muy profundos (más de 120 cm hasta la roca o el sustrato) y aquellos con erosión severa no alcanzan más de 70 a 80 cm hasta el sustrato. Sin embargo, se han descrito sectores con suelos de menos de 50 cm de profundidad, en condiciones extremas.



Figura 4-38. Paisaje que muestra los sectores de suelos que se encuentran en posición de terrazas marinas, lomajes suaves próximos a los sectores costeros, terrazas remanentes tanto de origen marino como aluvial que se han formado en los valles próximos de la Cordillera de la Costa. Las pendientes más frecuentes son de 2 a 5%, 8 a 15% y solamente en algunos casos de las caídas pueden ser superiores a 30%. Se puede apreciar la intensa erosión de flujo precanalizado (laminar) a que han estado expuestos estos suelos a causa del manejo.



Figura 4-39. Trigo de secano en los suelos de las terrazas marinas. La Clase de Capacidad de Uso que mejor representa a este grupo es la Clase IV. A los suelos con mejor aptitud agrícola, se les ha asignado Clase III y a aquellos con las mayores limitaciones la Clase VI, principalmente por sus condiciones de drenaje.

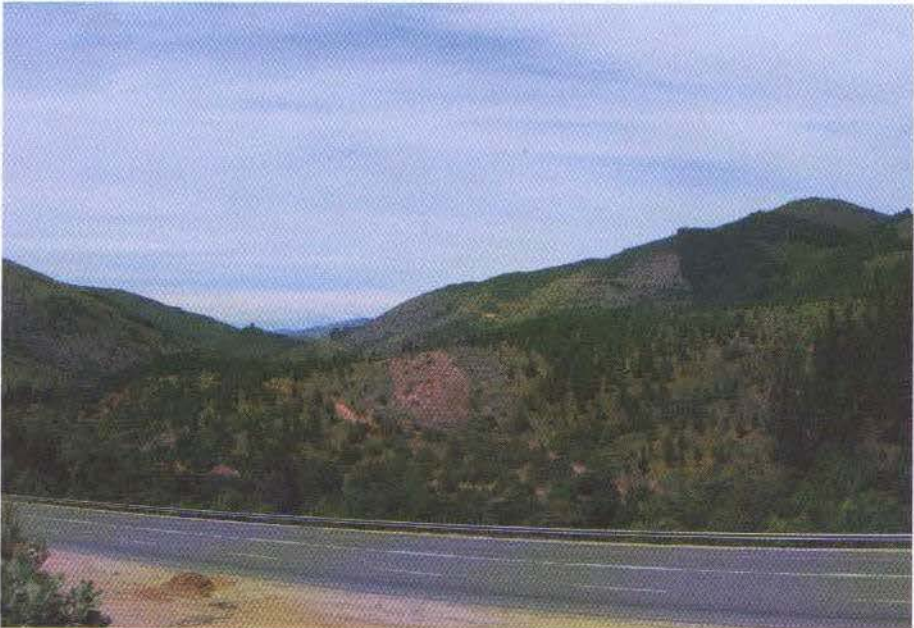


Figura 4-40. Paisaje de la Cordillera de la Costa de la VII Región del Maule y parte de la VIII del Bío-Bío. A la mayoría de los suelos se les ha asignado Clases de Capacidad de Uso VI y VII. Gran parte de estas áreas se encuentra plantada con pinos (*Pinus radiata*) y eucaliptus (*Eucaliptus sp.*)



Figura 4-41. Perfil de la Asociación Constitución. A partir de la VII Región del Maule hacia el sur, en la Cordillera la Costa, se presentan suelos originados a partir de rocas metamórficas. Las condiciones texturales, de estructura, topografía, relieve, profundidad al sustrato, distribución radical y drenaje son semejantes a las de los suelos de origen granítico. La diferencia morfológica más destacable la constituye el color que, en estos suelos, se hace notablemente más rojo, en el matiz 2.5YR.



Figura 4-42. Los suelos de lomajes y terrazas de la Región del Bío-Bío, tienen en común la posición fisiográfica, si bien es cierto que su formación puede tener origen en la sedimentación marina, aluvial o en sedimentos metamórficos. El sustrato, que se encuentra generalmente a más de 120 cm de profundidad, está constituido por arenas o areniscas en su mayoría ricas en cuarzo.

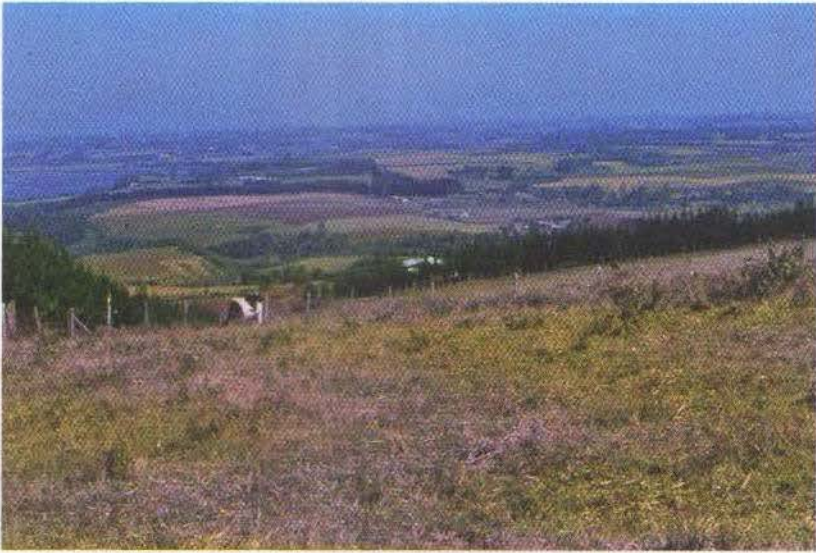


Figura 4-43. Los suelos que se encuentran en lomajes y terrazas costeras tienen un origen que puede estar relacionado con sedimentación marina o aluvial. Además, se trata de suelos planos o casi planos cuyas pendientes más frecuentes son de 0 a 1% y de 1 a 3%, y solamente algunas Fases de algunos suelos pueden tener pendientes superiores, entre 5 y 8%.

CAPÍTULO 5

Suelos de la Zona Mediterránea Húmeda (Desde 37°45'LS hasta 43°00'LS)



Luzio, W., Casanova, M., Seguel, O. 2009. Suelos de la Zona Mediterránea Húmeda (Desde 37° 45'LS hasta 43°00' LS). pp: 195-261 *In*: Suelos de Chile. (Luzio, W., Editor). Universidad de Chile.

5.1 Reseña geológica de la región comprendida entre Los Ángeles y Chiloé

Según Cisternas y Frutos (1994), entre Los Ángeles y Chiloé se extiende la denominada Cuenca Terciaria con un eje longitudinal NNE-SSW, a lo largo del flanco occidental de la actual Cordillera de la Costa y de la Depresión Central. Dorsales o bloques elevados del Basamento Metamórfico – Paleozoico subdividen longitudinal y transversalmente la cuenca principal en varias subcuencas, tales como la de Los Ángeles – Temuco, la de Osorno - Llanquihue, la de Pupunahue y otras de menor importancia. Estos mismos autores (*op.cit.*) establecen que las secuencias estratigráficas del Terciario se simplifican, si se consideran unidades genéticas controladas por procesos. De esta forma establecen una primera Unidad Genética representada por secuencias continentales del Oligoceno-Mioceno Inferior, que inician el relleno de la Cuenca y representan los productos de sedimentación de sistemas aluviales y fluviales, además de equivalentes volcánoclasticos. Una segunda Unidad Genética corresponde a secuencias volcánicas del Oligoceno Superior – Mioceno Inferior y que representan el denominado *Cinturón Volcánico de la Costa*. La tercera Unidad Genética corresponde a secuencias marinas del Mioceno Medio dispuesta sobre volcanitas y sedimentitas continentales.

Según Moreno y Varela (1985) durante el Cuaternario la actividad volcánica en Los Andes de Chile fue de gran intensidad con considerables volúmenes de materiales emitidos (Figura 5-1, al final del Capítulo). Gran parte de los piroclastos más finos (cenizas y polvo volcánico) fueron transportados hacia territorio argentino por la acción de los vientos del oeste. Sin embargo, es necesario considerar que en esta zona hay una gran influencia de los vientos del este (*puelche*), cuyo efecto fue el de depositar tefras en los valles y flancos de la cordillera andina de Chile hasta la latitud 39°; desde allí hacia el sur los depósitos se extienden hacia la Depresión Intermedia. Así, se originaron gruesas capas de lapillis y cenizas en áreas interiores de la Cordillera, especialmente en las proximidades de los centros volcánicos más activos. Desde Loncoche hacia el sur (*op. cit.*) los depósitos volcánicos dominan en gran parte de la Depresión Intermedia, cubriendo otros materiales sedimentarios y volcánicos más antiguos. A causa de la acción fluvial y de las lluvias, parte de esta cubierta fue removida y retransportada, dejando al descubierto, localmente, los estratos inferiores. En estos lugares es posible encontrar suelos desarrollados sobre materiales más antiguos de origen sedimentario (fluvial, lacustre o glacial) y netamente volcánico (flujos piroclásticos, lahares).

Los flujos piroclásticos y laháricos descendieron desde los volcanes andinos, utilizando los valles glaciales y fluviales como corredores naturales, algunos de los cuales se introdujeron en los valles de la Cordillera de la Costa, alcanzando hasta el mar en varias localidades. Los lahares más importantes fueron los del Laja, Malleco y Osorno (Moreno y Varela, 1985) considerando la región motivo de este capítulo.

5.2 Características y propiedades de los suelos del sector Údico - Mésico

5.2.1 Suelos de la Cordillera de Los Andes

Geográficamente se puede asignar a este sector un área que va desde una línea imaginaria de norte a sur, más o menos a lo largo del meridiano 72°00' y que va desde Curacautín, Melipeuco, Cunco, Pucón y Villarrica hasta algunos sectores cordilleranos en los cuales existe información edáfica. De estos últimos, sólo hay referencias a nivel de Asociaciones de Suelos, en general debido a su escasa utilización agrícola y a la limitada accesibilidad de la mayoría de los sectores cordilleranos (Figura 5-2, al final del Capítulo).

En todo este sector, entre los 600 y los 1.400 msnm, existe una dominancia de suelos derivados de tefras de granulometría gruesa y media, es decir, pumícea, cinerítica y fragmental. Se trata de suelos profundos y moderadamente profundos, con clase textural que varía entre franco arenosa gruesa y franco limosa. Generalmente presentan colores pardos en superficie, que se encuentran en el matiz 10YR y que puede llegar a un color pardo amarillento, en el matiz 7.5YR, en profundidad. La mayor parte de los suelos tiene como sustrato, en límite abrupto, a gravas escoriáceas de origen volcánico cuyo tamaño puede variar entre 2 y 6 cm de diámetro. La topografía corresponde a la denominación de cerros, es decir, entre 30 y 50% de pendiente. La permeabilidad es de moderada a rápida y el drenaje es de bueno a excesivo.

La evolución de los materiales volcánicos iniciales ha sido suficiente como para calificar a estos suelos como Andisols, es decir presentan una densidad aparente (D_b) inferior a $0,9 \text{ Mg m}^{-3}$, una retención de P superior a 85% y un $[\text{Al}_{\text{ox}} + \frac{1}{2}\text{Fe}_{\text{ox}}]$ superior a 2%. En algunos casos, como ocurre con la Asociación Los Nevados, estas propiedades se cumplen en forma bastante ajustada, en el 60% de los 60 cm superficiales, debido a que aproximadamente, bajo los 50 cm de profundidad, aumenta considerablemente la cantidad de material cinerítico grueso. El contenido de CO es elevado en los 25 cm superficiales, alcanzando valores de 9,5% y con un decrecimiento gradual en profundidad, que puede llegar a 2,3% a los 120 cm en los suelos más profundos. En algunos suelos la Capacidad de Intercambio Catiónica Efectiva (CICE) es inferior a $2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, indicando con ello una baja disponibilidad de bases de intercambio y una baja cantidad de Al^{+++} (KCl).

Se puede señalar que la limitante principal que presentan estos suelos para su utilización agrícola, además de las propias de los Andisols (elevada retención de P), la constituye la topografía, la cual es demasiado escarpada para cualquier tipo de labranza. Las pendientes de 20 a 30% son frecuentes y, aun cuando los suelos pueden ser profundos, su aptitud agrícola está limitada por su susceptibilidad a la erosión. Por estas razones la mayoría de las Fases de las Series o Asociaciones descritas en este sector se ha clasificado en Clase IV, VI y VII de Capacidad de Uso, con aptitud netamente forestal e idealmente para forestación con especies nativas. Los sectores con pendientes superiores a 50% debieran considerarse como Clase VIII y no debieran tener intervención de ninguna naturaleza. En el Cuadro 5-1 se presentan las principales propiedades físicas y químicas de un perfil de la Asociación Los Nevados (Acrudoxic Hapludand), que se considera representativa de los suelos de este sector.

Cuadro 5-1. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil de la Asociación Los Nevados (CIREN, 2002)

| Profundidad (cm) | 0 - 20 | 20 - 42 | 42 - 80 | 80 + |
|---|----------------|-----------------|-----------------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | AC ₁ | AC ₂ | C |
| 2-1 | 2,9 | 2,7 | 20,9 | 43,2 |
| 1-0,5 | 7,8 | 2,9 | 12,7 | 18,8 |
| 0,5-0,25 | 11,9 | 9,0 | 10,7 | 6,2 |
| 0,25-0,10 | 23,5 | 22,0 | 15,9 | 6,9 |
| 0,10-0,05 | 15,8 | 19,9 | 11,3 | 9,2 |
| 2-0,05 | 62,1 | 56,6 | 71,6 | 84,3 |
| 0,05-0,002 | 25,2 | 36,0 | 21,0 | 15,0 |
| < 0,002 | 12,6 | 7,3 | 7,4 | 0,7 |
| Clase textural | Fa | Fa | Fa | aF |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 34,6 | 30,6 | 24,8 | 18,2 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 31,2 | 21,6 | 16,3 | 8,5 |
| Carbono orgánico (%) | 9,28 | 4,19 | 1,55 | 0,30 |
| pH _{agua} | 5,9 | 6,1 | 6,1 | 6,1 |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 0,65 | 0,29 | 0,24 |
| | Mg | 0,25 | 0,10 | 0,06 |
| | K | 0,11 | 0,03 | 0,01 |
| | Na | 0,08 | 0,04 | 0,02 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 1,29 | 0,46 | 0,33 | 0,32 |
| Capacidad total intercambio | 26,9 | 22,1 | 10,2 | 6,2 |
| CICE | 1,51 | 0,46 | 0,33 | 0,32 |
| Retención de P (%) | 97 | 100 | 97 | 81 |
| Al ox + ½Fe ox (%) | 2,31 | 4,11 | 3,31 | 2,60 |
| Saturación de bases (%) | 4,0 | 2,0 | 3,0 | 5,0 |

5.2.2 Suelos de la pre-Cordillera de Los Andes

En una posición más próxima a la Depresión Intermedia, pero siempre dentro del concepto de pre-cordillera (Curacautín, Lonquimay, Melipeuco, Cunco, Pucón, Villarrica), alcanzan su máxima expresión los suelos derivados de cenizas volcánicas: los Typic Hapludands. Se trata de suelos generalmente profundos y más raramente moderadamente profundos que se ubican en posición de terrazas aluviales, como producto de re-transporte aluvial de las cenizas volcánicas; también se ubican en planos de origen fluvio-glacial o bien sobre conglomerados de origen volcánico compactados y cementados (Figura 5-3, al final del Capítulo).

Los suelos de origen volcánico que se encuentran ocupando una posición de terrazas aluviales, presentan un sustrato generalmente constituido por gravas y piedras redondeadas y subredondeadas alrededor de los 100 cm de profundidad y con una matriz que puede variar desde franco arcillosa hasta arenosa. Las Fases planas (0 – 1% de pendiente) o casi planas (1 – 3%) pueden presentar drenaje moderado a imperfecto, aun cuando el suelo pueda tener permeabilidad moderadamente rápida. Las Fases ligeramente onduladas (2 a 5% de pendiente) generalmente tienen buen drenaje. Algunos suelos tienen como sustrato un conglomerado fluvio-glacial (Series

Quintrilpe y Rarirruca) en los que la presencia de pómez es frecuente. Sin embargo, debido a la profundidad a la que se presenta, no constituiría un impedimento serio a la penetración radical de la mayoría de los cultivos.

En el caso de los suelos clasificados como Hapludands (Series Cunco, Melipeuco, Molco, Quintrilpe) el contenido de CO es alto (sobre 5,5%) en el horizonte superficial y decrece regularmente en profundidad, a excepción de aquellos casos que tienen un suelo enterrado bajo los 50 cm de profundidad. En estos, al mismo tiempo de aumentar el contenido de CO, disminuye el croma y valor (Munsell). Otros suelos pueden tener contenidos de CO mayor en los horizontes superficiales, esto es 10 ó 14%, en cuyos casos dominan los epipedones melánicos o similares a él. El pH se encuentra en el rango entre débilmente ácido a fuertemente ácido (6,6 y 5,2). La CICE se mantiene entre 3 y 10 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ para la mayoría de los suelos del sector y con una saturación de Al inferior a 5%. Solamente la Serie Villarrica manifiesta una saturación de Al superior a 30%. La CICE inferior a 2 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ caracteriza a los Sub Grupos Acrudoxic, en la mayoría de los cuales la saturación de Al en el complejo de intercambio es inferior a 1% y, en muchos horizontes es 0%.

El contenido de agua retenida a 33 kPa se mantiene sobre 50% para todos los horizontes de la mayoría los suelos y, en algunos de ellos puede alcanzar 80%, cifra que es concordante con las propiedades ándicas que caracterizan a estos suelos.

Todos los suelos de esta Sub Región cumplen con las propiedades ándicas en la mayoría de los horizontes. Solamente algunas capas, probablemente producto de sedimentaciones más recientes, no alcanzan los valores mínimos para estos requerimientos. Éstas se encuentran generalmente en superficie, sin embargo, su espesor no es suficiente para cambiar las características ni el comportamiento de los suelos.

Los suelos que se encuentran en la pre-Cordillera y más próximos a la Depresión Intermedia tienen las mejores aptitudes agrícolas, principalmente debido a que se presentan en una posición topográfica más adecuada, esto es como terrazas aluviales, terrazas remanentes o bien sobre depósitos fluvioglaciales de escasa gradiente (figuras 5-4 y 5-5, al final del Capítulo). De esta manera, es posible encontrar Fases de Series, con Clases de Capacidad de Uso II y III y con 1 a 3% de pendiente (Series Cunco, Los Prados, Molco, Rarirruca) y algunas que, si bien tienen escasa gradiente, presentan drenajes imperfectos como ocurre en algunas Fases de las Series Melipeuco y Quintrilpe.

En el Cuadro 5-2 se presentan las principales propiedades físicas y químicas de un perfil de la Serie Cunco (Acrudoxic Hapludand), que se considera representativa de los suelos de este sector.

Cuadro 5-2. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil de la Serie Cunco (CIREN, 2002)

| Profundidad (cm) | 0 - 19 | 19 - 30 | 30 - 59 | 59 - 86 | 86 - 100 | |
|---|----------------|------------------|------------------|------------------|----------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A _p | 2B _{w1} | 3B _{w2} | 3B _{w3} | 3BC | |
| 2-1 | 1,0 | 1,2 | 1,0 | 0,2 | 0,8 | |
| 1-0,5 | 2,7 | 2,1 | 1,8 | 0,3 | 1,1 | |
| 0,5-0,25 | 5,2 | 4,1 | 5,3 | 3,8 | 2,7 | |
| 0,25-0,10 | 11,6 | 10,7 | 9,2 | 12,5 | 4,4 | |
| 0,10-0,05 | 32,1 | 13,8 | 16,6 | 23,6 | 14,0 | |
| 2-0,05 | 52,7 | 32,0 | 33,9 | 40,4 | 23,1 | |
| 0,05-0,002 | 31,6 | 43,6 | 39,9 | 39,1 | 44,6 | |
| < 0,002 | 15,7 | 24,4 | 26,2 | 20,5 | 32,3 | |
| Clase textural | Fa | F | F | F | FA | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,05 | 0,81 | 0,73 | 0,78 | 0,67 | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 26,5 | 41,0 | 50,8 | 47,2 | 56,3 | |
| Agua retenida 1500 kPa (%) | 12,4 | 28,4 | 28,5 | 27,1 | 43,8 | |
| Carbono orgánico (%) | 3,29 | 3,26 | 5,86 | 5,78 | 2,67 | |
| pH _{agua} | 6,0 | 6,3 | 5,4 | 5,9 | 6,0 | |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 3,96 | 1,70 | 0,90 | 0,93 | 0,56 |
| | Mg | 1,52 | 1,23 | 0,25 | 0,32 | 0,26 |
| | K | 0,08 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,01 |
| | Na | 0,09 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,06 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 5,65 | 3,03 | 1,26 | 1,35 | 0,89 | |
| Capacidad total intercambio (cmol _c kg ⁻¹) | 21,5 | 41,8 | 42,9 | 37,0 | 39,7 | |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 5,65 | 3,03 | 1,31 | 1,38 | 0,89 | |
| Retención de P (%) | 76,0 | 99,0 | 98,0 | 96,0 | 99,0 | |
| Al ox + ½Fe ox (%) | 2,27 | 4,28 | 3,82 | 3,27 | 3,53 | |
| Saturación de bases (%) | 26,0 | 7,0 | 3,0 | 4,0 | 2,0 | |

5.2.3 Suelos de la Depresión Intermedia

Geográficamente se puede asignar a este sector el área que corresponde a lo que tradicionalmente se ha denominado la Depresión Intermedia, es decir, un amplio territorio ubicado entre el flanco poniente de la Cordillera de Los Andes y el flanco oriente de la Cordillera de la Costa, considerando, por supuesto, que ambos límites son un tanto difusos. La razón de la imprecisión para estos límites se debe a las variaciones en la geomorfología y a la intervención de agentes modificadores del paisaje, tales como las depositaciones de sedimentos aluviales, sedimentos volcánicos eólicos y aluviales, corrientes laháricas y algunas evidencias de sedimentos glaciales.

En todo este sector, entre 50 y 400 msnm, existen diferencias en topografía que van desde la presencia de terrazas aluviales planas o casi planas a lomajes de pendientes de hasta 15 a 20%. Lógicamente, esta variabilidad determina la presencia de una amplia gama de suelos con características diferentes, aun cuando la mayoría de los Estudios Agrológicos se inclina a establecer que existe una dominancia de suelos derivados de tefras holocénicas y pleistocénicas, por lo que la mayoría de los suelos tendría su origen en sedimentos volcánicos provenientes de diferentes épocas geológicas.

Los suelos se pueden agrupar en determinadas clases, tratando de explicar su distribución paisajística. Para ello se han tomado en consideración parámetros morfológicos, geomorfológicos y también de desarrollo pedogénico, todos los cuales ayudan a entender la presencia de ciertos suelos en determinados paisajes. De esta manera, se ha identificado como un primer grupo a los suelos que se supone presentan una mayor antigüedad (pleistocénicos) y que tienen un mayor desarrollo de perfil, a causa de la presencia de un horizonte de iluviación (B_t) y cuyo origen se encontraría en la evolución de tefras de mayor antigüedad. Dentro de este grupo se han separado aquellos suelos que tienen una saturación de bases muy baja y a los que se les atribuye la mayor antigüedad. Un segundo grupo de suelos corresponde a aquellos con menor grado de evolución, en cuyo perfil sólo puede diferenciarse un horizonte B sin evidencias de translocación de componentes (B o B_w). El tercer grupo está representado por los suelos volcánicos holocénicos, con epipedones úmbricos o melánicos y que corresponden a los Andisols típicos. Como cuarto grupo se han separado a aquellos Andisols pobremente drenados y que se identifican con el concepto de *ñadis*. Finalmente y en forma aislada, y con escasa representatividad en superficie, se encuentran suelos con saturación de bases superior a 50% en todo el perfil y con epipedones de colores oscuros que caen dentro del concepto de Mollisols.

Suelos con horizonte argílico (B_t). Son suelos profundos y moderadamente profundos que descansan sobre conglomerados fluvioglaciales, parcialmente meteorizados de composición andesítico-basáltica o sobre brechas volcánicas con diferente grado de meteorización. Ocupan una posición de lomajes con topografía de suave a moderadamente ondulada, con pendientes dominantes de 8 a 15% y hasta 20 a 30% en algunas Fases. Son suelos de permeabilidad lenta y de buen drenaje; solamente algunas Fases de relieve cóncavo y en las depresiones, pueden presentar drenaje imperfecto. Los horizontes superficiales son de clase textural franco arcillosa o franco arcillo limosa, en cambio, el subsuelo (horizonte B) de todos ellos es de clase textural arcillosa. Por ello existe un claro incremento de la fracción fina con la profundidad, de tal manera que el contenido de arcilla de los horizontes B puede variar entre 40 y 65%. La fuerte erosión que han sufrido estos suelos a causa de la labranza en pendientes no aptas, ha llevado a que la mayor parte de los perfiles que se describen en la actualidad sean incompletos a causa de la decapitación de los horizontes superficiales.

Otro rasgo que caracteriza a este grupo de suelos corresponde al color de los horizontes, que varía entre los matices 5YR y 2.5YR, es decir, desde el pardo rojizo oscuro hasta el rojo oscuro. Tanto el contenido de arcilla como los colores han constituido las razones por las cuales a estos suelos se les ha conocido como los *suelos rojos arcillosos*.

El pH se encuentra en el rango entre débilmente ácido a fuertemente ácido (6,2 y 5,3), con una baja saturación de Al en el complejo de intercambio. Al mismo tiempo la SB es baja a intermedia, entre 31 a 65%, a través de los perfiles. Las cifras más altas se encuentran en los horizontes más profundos, con lo cual los suelos califican dentro del Orden Alfisol.

La CIC es variable de un suelo a otro y, de un horizonte a otro dentro del mismo suelo. Las cifras varían entre 13 y 31 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, sin que exista ninguna tendencia con la profundidad, ni tampoco se asocia al incremento de la fracción arcilla por la presencia del horizonte argílico. Esta variabilidad podría estar asociada, además de la translocación de componentes a la que han estado sometidos los suelos, a una estratificación original de los materiales parentales.

Es interesante destacar que los parámetros que definen a los suelos volcánicos -las propiedades ándicas- se encuentran débilmente representadas, hecho que podría considerarse como uno de los elementos de juicio que se ha tenido para considerarlos como originados a partir de cenizas volcánicas antiguas (Besoain, 1958). La Db es ligeramente superior a 1 Mg m^{-3} , e incluso en algunos horizontes puede ser inferior; la retención de P está sobre 50% en todos los suelos y puede llegar a 66% en algunos horizontes; el $[\text{Al}_{\text{ox}} + \frac{1}{2}\text{Fe}_{\text{ox}}]$ siempre es inferior a 1%, aun cuando próximo a esa cifra. De acuerdo con estos datos, parece lógico deducir que los materiales originales de naturaleza *amorfa* hubieren evolucionado hacia algunas formas de minerales cristalinos (Besoain y González, 1978) y que aún pudieran encontrarse algunos rasgos, aunque débiles, que los identifican.

La aptitud agrícola de estos suelos está asociada en gran parte a la topografía, así como la erodabilidad actual y potencial de ellos. Las Fases de menor pendiente (2 a 5%) presentan, en general la mejor aptitud y, al mismo tiempo presentan el menor grado de erosión; la mayor parte se ha clasificado en Clases III y IV de Capacidad de Uso. Las Fases de 15 a 20% de pendiente, presentan erosión de flujo precanalizado (laminar) severa, de surcos y con cárcavas frecuentes. A estas Fases se les ha considerado en Clase VII, por lo que su aptitud es de praderas permanentes o forestales, pero no para cultivos que impliquen labranza.

Los principales suelos que se han considerado para este análisis son las Series Mininco (Typic Rhodudalfs) y Metrenco (figuras 5-6 y 5-7, al final del Capítulo). En el Cuadro 5-3 se presentan las principales propiedades de un perfil de la Serie Metrenco (Typic Paleudults) considerada representativa de este grupo de suelos.

Cuadro 5-3. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil de la Serie Metrenco (CIREN, 2002)

| Profundidad (cm) | 0 – 13 | 13 – 43 | 43 – 66 | 66 – 85 | 85 – 120 | |
|---|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | B ₁₁ | B ₁₂ | B ₁₃ | B ₁₄ | |
| 2-1 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | |
| 1-0,5 | 0,8 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | |
| 0,5-0,25 | 1,0 | 0,4 | 0,5 | 0,9 | 0,7 | |
| 0,25-0,10 | 2,6 | 1,6 | 3,4 | 2,8 | 3,2 | |
| 0,10-0,05 | 7,2 | 9,3 | 9,7 | 9,5 | 11,7 | |
| 2-0,05 | 11,9 | 11,5 | 14,2 | 13,7 | 16,3 | |
| 0,05-0,002 | 40,0 | 35,1 | 41,6 | 35,9 | 38,2 | |
| < 0,002 | 40,1 | 53,4 | 48,0 | 50,3 | 45,5 | |
| Clase textural | AL | A | A | A | A | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 0,98 | 1,07 | 0,96 | 1,11 | 1,13 | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 29,4 | 33,5 | 34,7 | 34,5 | 32,7 | |
| Agua retenida 1500 kPa (%) | 22,8 | 26,2 | 26,6 | 26,1 | 25,1 | |
| Carbono orgánico (%) | 1,94 | 0,45 | 0,28 | 0,36 | 0,33 | |
| pH _{agua} | 5,3 | 5,4 | 5,6 | 5,4 | 5,5 | |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 3,73 | 4,62 | 4,07 | 4,06 | 3,89 |
| | Mg | 1,77 | 2,48 | 2,59 | 2,62 | 2,50 |
| | K | 0,49 | 0,16 | 0,05 | 0,07 | 0,08 |
| | Na | 0,06 | 0,09 | 0,12 | 0,11 | 0,09 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 6,05 | 7,35 | 6,83 | 6,86 | 6,56 | |
| Capacidad total intercambio (cmol _c kg ⁻¹) | 18,3 | 15,8 | 17,3 | 13,1 | 16,7 | |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 6,30 | 7,35 | 6,85 | 6,91 | 6,60 | |
| Retención de P (%) | 57,0 | 55,0 | 55,0 | 53,0 | 53,0 | |
| Al ox + 1/2Fe ox (%) | 0,79 | 0,74 | 0,67 | 0,59 | 0,58 | |
| Saturación de bases (%) | 33,0 | 46,0 | 40,0 | 52,0 | 35,0 | |

Suelos con horizonte cámbico (B). Dentro de esta clase se han descrito suelos moderadamente profundos y profundos que ocupan posición de terrazas aluviales con 1 a 3% de pendiente y bien drenados. Otro grupo importante lo constituyen los suelos delgados sobre un sustrato constituido por un duripán formado por brechas volcánicas, conglomerados o gravas con diferente grado de meteorización, pero que impide el paso de las raíces. También existen suelos en posición de lomajes y cerros con pendientes superiores al 30%.

Un primer grupo, que corresponde a suelos profundos y moderadamente profundos, tienen clases texturales finas y moderadamente finas: franco limosa y franco arcillo limosa en el horizonte superficial y franco arcillosa y arcillosa en el horizonte B y los colores se mantienen en los matices 7.5YR y 10YR con cromas y valores bajos (Munsell). La secuencia normal de horizontes para estos suelos es un epipedón úmbrico y un horizonte cámbico con SB bajo 50% a través del perfil. En algunos casos puede presentarse un duripán bajo los 100 cm. En algunas Fases los rasgos redoximórficos son abundantes evidenciando condiciones actuales de drenaje imperfecto y pobre.

La Db se mantiene sobre 1 Mg m⁻³ a través de todos los horizontes en todos los suelos; ocasionalmente algún horizonte puede tener una Db de 0,9 Mg m⁻³. La retención de P puede llegar a ser inusualmente elevada (80%) para este tipo de suelos, indicando con ello algún origen

o contaminación con materiales de origen volcánico. El contenido de CO decrece regularmente con la profundidad alcanzando un máximo de 4,7% en el epipedón; el pH se mantiene en el rango de débilmente ácido a través de todos los horizontes. La CIC es muy variable, tanto de un suelo a otro como de un horizonte a otro dentro del mismo perfil (13 a 34 cmol_c kg⁻¹).

En el Cuadro 5-4 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de un perfil de la Serie Nueva Imperial (Typic Humaquept) considerada representativa de este grupo de suelos.

Cuadro 5-4. Propiedades de un perfil de la Serie Nueva Imperial (CIREN, 2002)

| Profundidad (cm) | 0 - 11 | 11 - 25 | 25 - 55 |
|---|----------------|----------------|----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A _p | B ₁ | B ₂ |
| 2 - 1 | 0,9 | 0,6 | 0,9 |
| 1 - 0,5 | 1,4 | 1,0 | 1,3 |
| 0,5 - 0,25 | 1,8 | 1,3 | 1,9 |
| 0,25 - 0,10 | 2,2 | 1,7 | 2,4 |
| 0,10 - 0,05 | 4,8 | 4,0 | 8,2 |
| 2-0,05 | 11,1 | 8,7 | 14,7 |
| 0,05-0,002 | 45,3 | 34,3 | 31,6 |
| < 0,002 | 43,6 | 57,1 | 53,7 |
| Clase textural | AL | A | A |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,03 | 1,11 | 1,02 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 38,0 | 35,9 | 39,0 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 29,4 | 29,9 | 32,0 |
| pH _{agua} | 5,7 | 6,4 | 6,6 |
| Carbono orgánico (%) | 4,71 | 2,61 | 1,79 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | | | |
| Ca | 8,06 | 9,95 | 11,07 |
| Mg | 2,12 | 2,48 | 3,05 |
| Na | 0,22 | 0,37 | 0,64 |
| K | 0,09 | 0,04 | 0,04 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 10,49 | 12,84 | 14,80 |
| Capacidad total intercambio (cmol _c kg ⁻¹) | 33,0 | 34,7 | 30,0 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 10,66 | 12,90 | 14,81 |
| Saturación de Al (%) | 1,6 | 0,5 | 0,1 |
| Al ox + 1/2 Fe ox (%) | 1,66 | 1,41 | 1,12 |
| Saturación de bases (%) | 32,0 | 37,0 | 49,0 |

El segundo grupo que se puede identificar dentro de los suelos con horizontes B, lo constituyen aquellos suelos ligeramente profundos y delgados sobre un duripán o más generalmente un horizonte cementado y compactado, siempre con límite abrupto con el suelo suprayacente. La identificación de este grupo de suelos en forma separada, se ha basado en que su aptitud de uso es inferior a causa de la limitación de profundidad, aun cuando el resto de las propiedades permanezcan más o menos semejantes. La capa limitante se ha descrito entre los 50 y los 60 cm de profundidad. Las clases texturales dominantes son franco limosas, franco arcillo limosas y arcillosas con un ligero incremento de la fracción arcilla hacia los horizontes subsuperficiales. Todos estos suelos se encuentran ocupando terrazas aluviales con topografía plana o casi plana y con algunas Fases pobremente drenadas en las posiciones más deprimidas (Figura 5-8, al final del Capítulo). Su aptitud varía entre las Clases III y IV de Capacidad de Uso. En el Cuadro 5-5 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de un perfil de la Serie Perquenco (Andic Durudept) considerada representativa de este grupo de suelos.

Cuadro 5-5. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil de la Serie Perquenco (CIREN, 2002)

| Profundidad (cm) | 0 - 12 | 12 - 29 | 29 - 47 | 47 - 60 |
|---|----------------|----------------|----------------|---------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A _p | B _i | B ₂ | C |
| 2 - 1 | 1,1 | 1,0 | 1,6 | 5,0 |
| 1 - 0,5 | 4,2 | 3,4 | 4,2 | 9,6 |
| 0,5 - 0,25 | 7,8 | 7,8 | 8,0 | 12,7 |
| 0,25 - 0,10 | 8,4 | 8,2 | 8,9 | 12,2 |
| 0,10 - 0,05 | 6,8 | 6,8 | 6,3 | 6,8 |
| 2-0,05 | 28,5 | 26,8 | 29,0 | 46,4 |
| 0,05-0,002 | 41,8 | 38,2 | 37,5 | 30,3 |
| < 0,002 | 29,7 | 35,0 | 33,5 | 23,3 |
| Clase textural | FA | FA | FA | F |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,12 | 1,05 | 1,00 | 1,08 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 38,6 | 34,0 | 31,2 | 33,9 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 22,0 | 20,5 | 20,4 | 23,4 |
| pH _{agua} | 5,3 | 6,0 | 6,3 | 6,2 |
| Carbono orgánico (%) | 5,62 | 3,20 | 2,43 | 1,02 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | | | | |
| Ca | 5,74 | 8,36 | 8,95 | 10,03 |
| Mg | 0,93 | 1,23 | 1,55 | 3,29 |
| Na | 0,05 | 0,07 | 0,12 | 0,23 |
| K | 1,08 | 0,67 | 0,40 | 1,24 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 7,8 | 10,3 | 11,0 | 14,8 |
| Capacidad total intercambio (cmol _c kg ⁻¹) | 29,0 | 29,0 | 27,6 | 29,4 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 8,5 | 10,5 | 11,1 | 14,9 |
| Saturación de Al (%) | 7,8 | 1,2 | 0,7 | 0,5 |
| Retención de P (%) | 76,0 | 77,0 | 73,0 | 67,0 |
| Al ox + ½ Fe ox (%) | 1,16 | 1,23 | 1,10 | 0,70 |
| Saturación de bases (%) | 27,0 | 36,0 | 40,0 | 50,0 |

El tercer grupo que merece una mención, corresponde a suelos con topografía de cerros con 30 a 50% de pendiente, profundos, formados a partir de cenizas volcánicas antiguas, que se ubican en la Depresión Intermedia a alturas entre los 300 y los 400 msnm. Se trata de suelos con alto contenido de arcilla (40 a 55%) que se incrementa hacia los horizontes B, de color pardo rojizo y pardo rojizo oscuro (en el matiz 5YR y 2.5YR), bien estructurados y que pueden descansar sobre un conglomerado muy meteorizado bajo los 120 cm de profundidad. Es probable que su origen en tefras muy antiguas se encuentre relacionado con algunas propiedades que se asocian a las ya mencionadas propiedades ándicas de suelos volcánicos holocénicos. Esto es, una Db de 1 Mg m⁻³, e incluso menos en algunos horizontes, y una retención de P sobre 60%, cifra demasiado elevada para suelos que se podrían considerar sin relación con depósitos volcánicos. A causa de su topografía de lomajes y de cerros su aptitud es forestal y se encuentran clasificados en Clases VI y VII de Capacidad de Uso. En el Cuadro 5-6 se presentan las propiedades de la Serie Ñielol (Oxic Dystrudept) considerada representativa de este grupo de suelos. Se ha considerado para el análisis de este grupo de suelos con horizontes cámbico B, las Series Coigüe, Cholchol, Nueva Imperial, Huelche, Ercilla, Lautaro y Ñielol.

Cuadro 5-6. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil de la Serie Ñielol (CIREN, 2002)

| Profundidad (cm) | 0 - 15 | 15 - 35 | 35 - 65 | 65 - 93 | 93 - 120 | |
|--|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A_p | B₁ | B_{w1} | B_{w2} | B_{w3} | |
| 2 - 1 | 0,8 | 1,1 | 0,9 | 0,5 | 0,1 | |
| 1 - 0,5 | 1,3 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,3 | |
| 0,5 - 0,25 | 2,8 | 2,5 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | |
| 0,25 - 0,10 | 4,2 | 3,7 | 3,2 | 2,9 | 2,5 | |
| 0,10 - 0,05 | 5,3 | 4,2 | 4,9 | 4,9 | 5,9 | |
| 2-0,05 | 14,3 | 13,2 | 11,9 | 10,7 | 9,8 | |
| 0,05-0,002 | 41,6 | 36,6 | 35,1 | 36,3 | 36,8 | |
| < 0,002 | 44,1 | 50,1 | 53,0 | 53,0 | 53,4 | |
| Clase textural | AL | A | A | A | A | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,01 | 1,05 | 1,01 | 0,98 | 1,05 | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 24,9 | 23,8 | 28,0 | 34,8 | 36,0 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 17,8 | 18,8 | 21,7 | 25,7 | 27,3 | |
| pH _{agua} | 5,5 | 5,6 | 5,6 | 5,6 | 5,4 | |
| Carbono orgánico (%) | 2,99 | 1,39 | 0,67 | 0,50 | 0,35 | |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 3,60 | 3,55 | 5,21 | 5,71 | 6,59 |
| | Mg | 1,81 | 1,71 | 3,24 | 3,77 | 3,39 |
| | Na | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,11 |
| | K | 0,24 | 0,14 | 0,06 | 0,04 | 0,06 |
| | Al | 1,27 | 2,42 | 3,33 | 3,89 | 3,44 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 5,73 | 5,48 | 8,60 | 9,62 | 11,15 | |
| Capacidad total intercambio (cmol _c kg ⁻¹) | 18,8 | 25,2 | 21,4 | 18,8 | 21,7 | |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 7,00 | 7,90 | 11,93 | 13,51 | 14,59 | |
| Saturación de Al (%) | 18,1 | 30,6 | 27,9 | 28,8 | 23,6 | |
| Retención de P (%) | 61,0 | 58,0 | 52,0 | 49,0 | 49,0 | |
| Al ox + ½ Fe ox (%) | 0,88 | 0,66 | 0,35 | 0,26 | 0,22 | |
| Saturación de bases (%) | 31,0 | 22,0 | 40,0 | 51,0 | 51,0 | |

Andisols. En la Depresión Intermedia los suelos derivados de cenizas volcánicas holocénicas se encuentran ampliamente representados y, evidentemente cumplen con todos los requerimientos para ser considerados como Andisols. Sin embargo, dentro de ellos es posible establecer algunas diferencias que pueden ser importantes cuando se consideran aspectos acerca de su uso, manejo y conservación. Un primer grupo importante de Andisols corresponde a suelos profundos y moderadamente profundos que no presentan restricción para el arraigamiento, en la mayoría de las Series y en la mayoría de sus Fases. Se presentan en posición de terrazas aluviales recientes o remanentes más antiguas, donde las cenizas volcánicas originales han sido redepositadas por el agua. Por esta razón, el sustrato de casi todos estos suelos está constituido por gravas redondeadas y/o facetadas con arenas intersticiales características de los depósitos aluviales. En algunos suelos el sustrato puede encontrarse a menos de 1 m de profundidad, sin constituir una limitante al paso de las raíces.

Las clases texturales dominantes son franco limosas en los horizontes superficiales y el subsuelo mientras que franco arcillo limosas o franco arcillosas en los horizontes más profundos. Los colores más frecuentes se encuentran en los matices 7.5YR y 10YR y sólo en casos muy puntuales los suelos pueden tener matiz pardo rojizo y rojo (5YR y 2.5YR).

El contenido de CO varía entre 3 y 11 % en el epipedón, con un decrecimiento gradual con la profundidad, pero que no llega a 1%, incluso a los 120 cm de profundidad. En los suelos que presentan una marcada influencia aluvial el CO presenta un decrecimiento irregular, marcando claramente la estratificación de los materiales. La SB es particularmente baja, pues en todos los suelos es < 25%, llegando en algunos horizontes a 2% (Serie Toltén).

Son suelos de buena aptitud agrícola, con la restricción común a todos estos suelos cual es, la alta retención de P. La mayoría de las Fases se han clasificado en Clases II y III de Capacidad de Uso, a causa de ligeras limitaciones en el drenaje en los sectores más deprimidos de la topografía. Para este análisis se han tomado en consideración las propiedades y características de las Series Barros Arana, Gorbea, Lastarria, Loncoche, Malihue, Quecheregue, Temuco, Vilcún, Victoria y Toltén (Acrudoxic Hapludand). En el Cuadro 5-7 se presentan las principales propiedades físicas y químicas de un perfil de esta última Serie considerada representativa de este grupo de suelos.

Cuadro 5-7 Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil de la Serie Toltén (CIREN, 2002)

| Profundidad (cm) | 0 - 20 | 20 - 40 | 40 - 70 | 70 - 100 | 100 - 120 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | B ₁ | B ₂ | B ₃ | B ₄ |
| 2 - 1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 |
| 1 - 0,5 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 0,2 |
| 0,5 - 0,25 | 1,6 | 0,9 | 1,4 | 2,5 | 3,3 |
| 0,25 - 0,10 | 4,4 | 4,2 | 3,8 | 4,3 | 4,6 |
| 0,10 - 0,05 | 12,4 | 8,6 | 4,5 | 7,8 | 12,1 |
| 2-0,05 | 18,7 | 13,9 | 9,7 | 15,0 | 20,4 |
| 0,05-0,002 | 50,0 | 58,4 | 48,4 | 56,4 | 54,5 |
| < 0,002 | 31,2 | 27,8 | 41,9 | 28,5 | 25,0 |
| Clase textural | FAL | FAL - FL | AL | FAL | FL |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 0,61 | 0,65 | 0,93 | 0,86 | 0,90 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 57,3 | 52,4 | 42,4 | 40,3 | 44,4 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 36,0 | 36,6 | 31,7 | 33,5 | 33,1 |
| pH _{agua} | 5,8 | 6,2 | 5,9 | 5,9 | 5,9 |
| Carbono orgánico (%) | 10,73 | 3,62 | 2,31 | 1,88 | 1,80 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | | | | | |
| Ca | 2,68 | 0,34 | 0,23 | 0,28 | 0,20 |
| Mg | 1,10 | 0,21 | 0,21 | 0,25 | 0,18 |
| Na | 0,15 | 0,10 | 0,06 | 0,07 | 0,10 |
| K | 0,14 | 0,09 | 0,13 | 0,11 | 0,09 |
| Al | 0,22 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,03 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 4,07 | 0,74 | 0,63 | 0,71 | 0,57 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 40,5 | 28,7 | 23,7 | 26,9 | 24,5 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 4,29 | 0,74 | 0,64 | 0,73 | 0,60 |
| Saturación de Al (%) | 5,1 | 0,0 | 1,6 | 2,7 | 5,0 |
| Retención de P (%) | 98,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Al ox + ½ Fe ox (%) | 2,99 | 3,97 | 3,27 | 3,99 | 3,92 |
| Saturación de bases (%) | 10,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 2,0 |

Un segundo grupo de Andisols que merece una mención especial corresponde a suelos profundos, de colores pardo oscuros y negros y que presentan un elevado contenido de CO a través de todo el perfil. Todos ellos presentan un epipedón melánico o bien un horizonte que cumple los requerimientos del epipedón melánico a excepción del valor y cromas (Munsell). Uno de los rasgos sobresalientes de este grupo de suelos lo constituye el elevado contenido de CO, que se distribuye a través de todo el perfil. La mayoría de estos suelos puede tener entre 8 y 6% hasta los 60 cm y, en algunos suelos, llega a 3% a los 140 cm de profundidad. El contenido de agua puede variar de 38 a 61% a 1.500 kPa, y de 64 a 80% a 33 kPa. La CIC puede alcanzar 57 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, lo que evidencia la dominancia de minerales de ordenamiento de rango corto. Al igual que todos los suelos de esta región, mantienen una SB bajo 17% y que, en algunos horizontes puede ser tan baja como 2%. Desde un punto de vista taxonómico, estos suelos se incluyen en los Grandes Grupos Melanudands y Fulvudands. Presentan las mejores aptitudes desde el punto de vista agrícola y la mayoría de ellos se ha clasificado en Clase II y III de Capacidad de Uso; solamente algunas Fases en Clase IV y VI, fundamentalmente a causa del incremento en la pendiente. Todos son bien drenados y con clases texturales franca, franco limosa y franco arcillo limosa.

En el Cuadro 5-8 se presentan las principales propiedades físicas y químicas de un perfil de la Serie San Patricio (Acruoxic Melanudand) considerada representativa de este grupo de suelos.

Cuadro 5-8. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil de la Serie San Patricio (CIREN, 2002)

| Profundidad (cm) | | 0 - 16 | 16 - 38 | 38 - 84 | 84 - 103 |
|--|----|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | A ₁ | A ₂ | B ₁ | B ₂ |
| 2 - 1 | | 0,4 | 0,2 | 0,4 | 1,1 |
| 1 - 0,5 | | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 1,1 |
| 0,5 - 0,25 | | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 1,5 |
| 0,25 - 0,10 | | 4,4 | 4,3 | 3,1 | 1,6 |
| 0,10 - 0,05 | | 10,8 | 12,2 | 3,1 | 2,5 |
| 2-0,05 | | 17,8 | 18,1 | 8,1 | 8,0 |
| 0,05-0,002 | | 47,7 | 49,6 | 55,6 | 41,8 |
| < 0,002 | | 34,5 | 32,3 | 36,3 | 50,2 |
| Clase textural | | FAL | FAL | FAL | AL |
| Densidad aparente (Mg m^{-3}) | | 0,73 | 0,87 | 0,73 | 0,94 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 67,2 | 68,7 | 63,9 | 78,4 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | | 34,6 | 34,1 | 44,8 | 61,2 |
| pH _{agua} | | 5,8 | 5,6 | 6,0 | 6,0 |
| Carbono orgánico (%) | | 10,48 | 8,57 | 6,87 | 3,24 |
| Cationes intercambiables ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | Ca | 2,27 | 1,75 | 1,13 | 0,53 |
| | Mg | 0,62 | 0,26 | 0,48 | 0,42 |
| | Na | 0,13 | 0,07 | 0,06 | 0,05 |
| | K | 0,11 | 0,07 | 0,02 | 0,02 |
| | Al | 0,22 | 0,14 | 0,02 | 0,00 |
| Suma de bases ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | | 3,13 | 2,15 | 1,69 | 1,02 |
| CIC ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | | 48,6 | 47,5 | 57,4 | 36,0 |
| CICE ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | | 3,35 | 2,29 | 1,71 | 1,02 |
| Saturación de Al (%) | | 6,6 | 6,1 | 1,2 | 0,0 |
| Retención de P (%) | | 98 | 99 | 100 | 99 |
| Al ox + ½Fe ox (%) | | 3,82 | 4,03 | 4,17 | 4,13 |
| Saturación de bases (%) | | 6,0 | 5,0 | 3,0 | 3,0 |

Ñadis (semi – ñadis). Otros suelos también derivados de cenizas volcánicas y clasificados como Andisols, presentan limitaciones morfológicas que pueden afectar el uso y manejo de ellos. Son suelos moderados a ligeramente profundos, cuyo sustrato está constituido por gravas cementadas con materiales semejantes a un *fierrillo* (sus características se discuten en **Andisols con régimen ácuico, Ñadis**), depósitos fluvio-glaciales compactados, escorias volcánicas o brechas volcánicas parcialmente meteorizadas.

La presencia de un *fierrillo* u horizonte semejante a él en estos suelos constituye la manifestación más septentrional de este rasgo morfológico que es característico de los suelos de la Región Údica-Isomésica. En estricto rigor, ambos horizontes no son comparables, sin embargo, la translocación y posterior precipitación de Fe, actuando como agente cementante de los depósitos aluviales, indica la presencia de procesos pedogénicos incipientes que, más al sur, alcanzan su máxima expresión. Los suelos son delgados a ligeramente profundos y se encuentran sobre material volcánico del tipo escorias, brechas o lavas sin meteorizar. En todos los suelos de este grupo el límite entre el suelo y el sustrato es abrupto, lo cual sumado al relieve plano o casi plano determina que muchas Fases presenten drenaje imperfecto y hasta pobre (Figura 5-9, al final del Capítulo).

Las clases texturales se mantienen en los mismos rangos, esto es, franco limosas, franco arcillo limosas y las más gruesas hasta franco arenosas. Los colores tampoco presentan diferencias con los demás Andisols, es decir, varían entre los matices 10YR y 7.5YR. El contenido de CO puede llegar a 10% en el epipedón con un decrecimiento gradual con la profundidad hasta 0,5%. El pH se mantiene en rangos que fluctúan entre moderadamente a fuertemente ácido (5,4) (Sadzawka, 2006a). La CIC es muy variable en los diferentes horizontes, desde 7,9 hasta 58 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, valores que se encuentran en los rangos normales y predecibles para estos suelos (Sadzawka, 2006b). La SB siempre es inferior a 50%, siendo los valores más frecuentes entre 10 y 40%; sólo un suelo presenta una saturación de 2% a través de todo el perfil (Serie Pitrufoquén). Los suelos pertenecientes a esta misma Serie tienen las condiciones de drenaje más extremas, cuyas Fases van desde imperfectamente hasta muy pobremente drenadas en las cuales el nivel freático se encuentra entre los 30 y los 70 cm de profundidad y, en algunas épocas del año está en superficie. La mayoría de las Fases se ha clasificado entre Clase III y IV de Capacidad de Uso, principalmente a causa de las deficientes condiciones de drenaje.

En el Cuadro 5-9 se presentan las principales propiedades físicas y químicas de un perfil de la Serie Pitrufoquén (Lithic Placudand) considerada representativa de este grupo de suelos.

Cuadro 5-9. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil de la Serie Pitrufuquén (CIREN, 2002)

| Profundidad (cm) | 0 - 13 | 13 - 30 | 30 - 46 |
|--|----------------|----------------|----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A _p | B _t | B _z |
| 2 - 1 | 2,0 | 2,0 | 3,4 |
| 1 - 0,5 | 4,8 | 4,8 | 5,7 |
| 0,5 - 0,25 | 5,8 | 5,8 | 5,3 |
| 0,25 - 0,10 | 6,0 | 6,0 | 4,4 |
| 0,10 - 0,05 | 11,3 | 11,3 | 5,2 |
| 2-0,05 | 30,0 | 30,0 | 23,9 |
| 0,05-0,002 | 44,5 | 44,5 | 41,4 |
| < 0,002 | 25,5 | 25,5 | 34,7 |
| Clase textural | F | F | FA |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 0,72 | 0,72 | 0,65 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 60,9 | 60,9 | 72,8 |
| Agua retenida 1.500 kPa(%) | 31,3 | 31,3 | 44,0 |
| pH _{agua} | 5,5 | 5,5 | 5,4 |
| Carbono orgánico % | 8,58 | 8,58 | 5,52 |
| Ca | 0,31 | 0,31 | 0,38 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Mg 0,17 | 0,17 | 0,38 |
| Na | 0,07 | 0,07 | 0,09 |
| K | 0,10 | 0,10 | 0,04 |
| Al | 0,29 | 0,29 | 0,00 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 0,65 | 0,65 | 0,89 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 39,4 | 39,4 | 43,1 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 0,94 | 0,94 | 0,89 |
| Saturación de bases (%) | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Saturación de Al (%) | 30,9 | 30,9 | 0,0 |
| Retención de P (%) | 97,0 | 97,0 | 99,0 |
| Al ox + 1/2Fe ox (%) | 3,34 | 3,34 | 4,29 |

Suelos con alta saturación de bases (Mollisols). Se trata de suelos profundos, de clases texturales medias y finas, que se encuentran en posiciones de terrazas aluviales y planos depositacionales de origen fluvio-glacial, con topografía que va desde plana a suavemente ondulada. Los colores dominantes se encuentran en el matiz 10YR con croma y valor (Munsell) bajos, es decir, pardo oscuro, pardo grisáceo oscuro y negro en algunos casos.

El contenido de CO no es particularmente elevado, como sería esperable; incluso, en algunos suelos el requerimiento para la presencia de un epipedón mólico se encuentra casi en el límite inferior. La SB se encuentra sobre 50% a través de todos los perfiles, sin embargo sólo en un caso alcanza valores sobre 90%. La CIC varía de 12 a 27 cmol kg⁻¹, cifras que constituyen un elemento importante para deducir que no hay dominancia de minerales del tipo 2:1, sino más bien, se estima que la mineralogía es de origen mixto con dominancia de minerales del tipo 1:1. Sólo en la Serie Santa Rosario existe la evidencia de la contaminación (o recubrimiento de los sedimentos originales) con cenizas volcánicas holocénicas, pues la retención de P alcanza al 78%,

la Db está bajo 1 Mg m^{-3} en el epipedón y, alrededor de 1 Mg m^{-3} en todo el perfil. Además el $[\text{Al}_{\text{ox}} + \frac{1}{2}\text{Fe}_{\text{ox}}]$ presenta valores superiores a 1% a través de todo el perfil. En general, se trata de suelos con buena aptitud agrícola, en los cuales dominan las Clases de Capacidad de Uso II y III. Sin embargo, hay Fases que pueden presentar limitaciones ya sea por drenaje y niveles freáticos muy superficiales y, en los casos opuestos, por pendientes excesivas y riesgos de erosión. Para este análisis se han tomado en consideración las Series Negrete, Puralaco, Rapelco, Renaico, Trintre y Santa Rosario.

En el Cuadro 5-10 se presentan las principales propiedades físicas y químicas de un perfil de la Serie Rapelco (Typic Hapludoll) considerada como representativa de este grupo de suelos.

Cuadro 5-10. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil de la Serie Rapelco (CIREN, 2002)

| Profundidad (cm) | 0 - 25 | 25 - 41 | 41 - 64 | 64 - 110 |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A _p | A ₂ | B ₁ | B ₂ |
| 2 - 1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 1 - 0,5 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,5 |
| 0,5 - 0,25 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 2,8 |
| 0,25 - 0,10 | 6,5 | 6,6 | 10,2 | 18,9 |
| 0,10 - 0,05 | 48,1 | 46,8 | 41,0 | 41,6 |
| 2-0,05 | 55,6 | 54,6 | 52,5 | 64,1 |
| 0,05-0,002 | 37,4 | 40,0 | 41,5 | 29,3 |
| < 0,002 | 6,9 | 5,4 | 6,0 | 6,7 |
| Clase textural | Fa | Fa | Fa | Fa |
| Densidad aparente (Mg m^{-3}) | 1,27 | 1,03 | 1,20 | 1,38 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 21,4 | 22,2 | 22,1 | 22,0 |
| Agua retenida 1.500 kPa(%) | 8,7 | 9,4 | 9,2 | 8,0 |
| pH _{agua} | 6,2 | 6,4 | 6,6 | 6,8 |
| Carbono orgánico (%) | 2,73 | 2,12 | 1,67 | 1,34 |
| Cationes intercambiables ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | | | | |
| Ca | 5,34 | 5,44 | 5,54 | 5,22 |
| Mg | 0,64 | 0,68 | 0,63 | 0,50 |
| Na | 0,06 | 0,07 | 0,19 | 0,33 |
| K | 0,36 | 0,32 | 0,24 | 0,17 |
| Suma de bases ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 6,40 | 6,51 | 6,60 | 6,22 |
| CIC ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 10,5 | 10,6 | 11,4 | 9,6 |
| CICE ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) | 6,41 | 6,52 | 6,61 | 6,23 |
| Retención de P (%) | 54,0 | 58,0 | 64,0 | 63,0 |
| $\text{Al}_{\text{ox}} + \frac{1}{2} \text{Fe}_{\text{ox}}$ (%) | 0,84 | 1,00 | 1,18 | 1,30 |
| Saturación de bases (%) | 61,0 | 61,0 | 58,0 | 65,0 |

5.2.4 Suelos de la Cordillera de la Costa

La delimitación de ese sector está basada en el rasgo geológico y geomorfológico sobresaliente que significa la Cordillera de la Costa, que se levanta al oeste de la Depresión Intermedia, en forma gradual en algunos sectores y en forma más abrupta en otros, hasta alturas que alcanzan los 800 msnm. En la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa, entre los 250 y 300 msnm se encuentran suelos profundos, desarrollados a partir de cenizas volcánicas y depositadas sobre el complejo metamórfico.

Suelos con horizonte B_t. Los suelos de mayor evolución pedogénica se han desarrollado a partir de las rocas metamórficas de la Cordillera de la Costa, en posición de lomajes fuertes y de cerros. A algunos de ellos (Series Araucano y Correltúe) se les ha considerado como derivados de cenizas volcánicas antiguas y redeposita sobre materiales en discordancia, como ocurre con el suelo Correltúe, cuyo sustrato lo constituye un micaesquisto con diferentes grados de meteorización. En el caso de los suelos de la Asociación Nahuelbuta, su origen se encontraría directamente en la meteorización de las rocas metamórficas, tales como filitas y micaesquistos. Una de las características de estos suelos es, que todos ellos, ocupan un tipo de relieve que va desde suave y fuertemente ondulado hasta un relieve de cerros (Figura 5-10, al final del Capítulo). Las propiedades ándicas, para varios de estos suelos, se encuentran muy próximas a los límites para considerarles Andisols. En particular, en el suelo Correltúe, las propiedades ándicas son muy claras pues la Db se encuentra bajo 1 Mg m⁻³ en todos los horizontes, la retención de P es superior a 90% a través de todo el perfil y el [Al_{ox}+ ½Fe_{ox}] se aproxima a 2% en varios horizontes. Por lo tanto, es indiscutible la influencia de materiales volcánicos en su formación. En el Cuadro 5-11 se presentan las principales propiedades de un perfil de la Serie Correltúe (Andic Haplohumult), descrita sobre micaesquisto a los 130 cm de profundidad.

Cuadro 5-11. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil de la Serie Correltúe (CIREN, 2002)

| Profundidad (cm) | 0 - 7 | 7 - 28 | 28 - 64 | 64 - 98 | 98 - 130 |
|--|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | A ₂ | B ₁₁ | B ₁₂ | B ₁₃ |
| 2 - 1 | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 0,5 | 0,9 |
| 1 - 0,5 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,6 | 0,9 |
| 0,5 - 0,25 | 1,0 | 1,5 | 1,3 | 1,0 | 1,5 |
| 0,25 - 0,10 | 6,8 | 7,1 | 2,5 | 2,3 | 2,9 |
| 0,10 - 0,05 | 9,2 | 9,3 | 5,7 | 5,5 | 5,8 |
| 2-0,05 | 18,7 | 19,5 | 10,8 | 9,9 | 12,2 |
| 0,05-0,002 | 37,2 | 42,8 | 40,7 | 44,0 | 40,9 |
| < 0,002 | 44,1 | 37,6 | 48,5 | 46,1 | 47,0 |
| Clase textural | A | FA - FAL | AL | AL | AL |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 0,67 | 0,84 | 0,69 | 0,71 | 0,79 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 56,9 | 62,0 | 47,9 | 41,2 | 37,7 |
| Agua retenida 1.500 kPa(%) | 38,9 | 39,8 | 34,4 | 28,7 | 27,2 |
| pH _{agua} | 5,6 | 4,9 | 5,2 | 5,4 | 5,2 |
| Carbono orgánico (%) | 11,99 | 8,30 | 1,86 | 1,32 | 1,12 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | | | | | |
| Ca | 1,60 | 0,14 | 0,13 | 0,21 | 0,33 |
| Mg | 0,53 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,05 |
| Na | 0,16 | 0,10 | 0,05 | 0,07 | 0,08 |
| K | 0,15 | 0,07 | 0,03 | 0,03 | 0,02 |
| Al | 0,70 | 0,48 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 2,44 | 0,36 | 0,24 | 0,34 | 0,48 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 36,6 | 32,2 | 13,3 | 18,2 | 17,2 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 3,14 | 0,84 | 0,25 | 0,35 | 0,48 |
| Saturación de Al (%) | 22,0 | 57,0 | 4,0 | 3,0 | 0,0 |
| Retención de P (%) | 96,0 | 97,0 | 92,0 | 94,0 | 89,0 |
| Al _{ox} + ½ Fe _{ox} (%) | 1,96 | 2,31 | 1,40 | 1,46 | 1,17 |
| Índice melánico | 1,93 | 1,89 | 1,89 | 1,89 | 2,17 |
| Saturación de bases (%) | 7,0 | 1,0 | 2,0 | 2,0 | 3,0 |

Los suelos derivados de la meteorización de la roca metamórfica, en los que no se ha detectado influencia de contaminación con tefras holocénicas son suelos profundos, cuyos horizontes de acumulación de arcillas (B_t) pueden llegar a los 150 cm, de clases texturales finas y muy finas, desde franco arcillo limosa hasta arcillosa. Desde el punto de vista pedogénico, son suelos bien evolucionados a causa de la presencia de prominentes horizontes argílicos; sin embargo los horizontes de eluviación, morfológicamente, no son evidentes, ya sea por color o clase textural. La fracción arcilla puede variar entre 35 y 73% en los horizontes B_t . La estructura es generalmente fuerte y puede variar entre bloques subangulares medios y gruesos hasta prismas gruesos. Los colores dominantes son desde pardo rojizo oscuro al rojo oscuro, en los matices 2.5YR y 5YR. Solamente el alto contenido en CO de algunos horizontes superficiales, influye en un matiz más pardo (10YR).

La CIC, aun cuando es muy variable entre los suelos (desde 14 hasta 36 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$), en todos ellos presenta una disminución con la profundidad, siguiendo una tendencia similar a la del CO, a pesar que su influencia en la CIC puede ser de magnitud limitada. En igual forma la SB puede variar considerablemente de un suelo a otro, pero siempre se encuentra bajo 40%. Sólo algunas Fases de pendientes menores (2 a 5% y 5 a 8%) presentan aptitud agrícola, en particular para praderas y cereales. Se considera que la mejor aptitud para estos suelos es la forestal y algunas Fases con Clases de Capacidad de Uso VII y VIII deberían considerarse de preservación, debido a que ya, en la actualidad, presentan erosión severa. Tratándose de suelos profundos y muy profundos debieran manejarse con un estricto criterio conservacionista, ya que constituyen parte del escaso patrimonio edáfico del país. Estos suelos se han clasificado en los Sub Órdenes Udults y Humults (Ultisols). Se considera que los suelos de la Asociación Nahuelbuta (Rhodic Paleudult) constituyen un ejemplo del concepto central de este grupo de suelos, por lo que en el Cuadro 5-12 se presentan las principales propiedades físicas y químicas de un perfil perteneciente a esta Asociación (Figura 5-11, al final del Capítulo).

Cuadro 5-12. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil de la Asociación Nahuelbuta (CIREN, 2002)

| Profundidad (cm) | | 0 - 27 | 27 - 62 | 62 - 150 |
|--|----|----------------|-----------------|-----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | A ₁ | B _{tl} | B _{t2} |
| 2 - 1 | | 1,1 | 0,5 | 0,1 |
| 1 - 0,5 | | 1,2 | 0,8 | 0,4 |
| 0,5 - 0,25 | | 2,0 | 1,3 | 1,3 |
| 0,25 - 0,10 | | 4,0 | 3,0 | 2,5 |
| 0,10 - 0,05 | | 4,6 | 3,4 | 2,2 |
| 2-0,05 | | 12,8 | 8,9 | 6,6 |
| 0,05-0,002 | | 34,5 | 28,3 | 20,5 |
| < 0,002 | | 52,6 | 62,8 | 72,8 |
| Clase textural | | A | A | A |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 1,41 | 1,02 | 1,06 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 32,0 | 34,8 | 37,7 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | | 22,7 | 27,6 | 31,7 |
| pH _{agua} | | 5,2 | 5,3 | 5,4 |
| Carbono orgánico (%) | | 2,08 | 0,83 | 0,54 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 3,72 | 4,30 | 4,61 |
| | Mg | 1,81 | 2,02 | 2,30 |
| | Na | 0,15 | 0,15 | 0,13 |
| | K | 0,32 | 0,10 | 0,04 |
| | Al | 0,47 | 0,10 | 0,00 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | | 6,00 | 6,57 | 7,07 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | | 22,90 | 19,43 | 17,77 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | | 6,47 | 6,67 | 7,07 |
| Saturación de Al (%) | | 7,3 | 1,5 | 0,0 |
| Saturación de bases (%) | | 26,0 | 34,0 | 35,0 |

Suelos con horizonte B. En los sectores de topografía más plana, ubicados entre los macizos metamórficos de la Cordillera de la Costa, se han descrito suelos de evolución pedogénica intermedia (han desarrollado un horizonte B, cámbico) que, en su mayoría, están ocupando la posición de terrazas aluviales recientes o remanentes. Los materiales de origen de estas terrazas provienen, en gran parte, de los sedimentos que han sido arrastrados desde las partes más altas del relieve por efecto de la erosión severa que afecta a estos sectores. Por lo tanto, los suelos son ricos en mica y en cuarzo, minerales provenientes de la meteorización de las rocas metamórficas. Algunos de estos suelos se han desarrollado en los coluvios y piedmonts, con topografía de lomajes, que se adosan a los cerros de la Cordillera de la Costa.

Se trata de suelos profundos, de clases texturales finas, generalmente franco arcillosa a arcillosa (de 27 a 50% de arcilla). El color dominante es el pardo rojizo oscuro, en los matices 5YR y 2,5YR, que son heredados de los materiales parentales. Los suelos planos o casi planos tienen permeabilidad moderadamente lenta y drenaje imperfecto y sus horizontes más profundos (más de 100 cm) presentan abundantes oxidaciones y concreciones de Fe y Mn y colores gley (2,5Y).

El contenido de CO es bajo, no supera 2,3% en los horizontes superficiales y decrece en profundidad hasta 0,1%. La CIC no supera los 17 cmol_c kg⁻¹ en ningún horizonte, incluso dominan los valores entre 11 y 13 cmol_c kg⁻¹ lo que indicaría abundancia de minerales secundarios del tipo kandíticos. La SB se mantiene bajo 30% en todos los horizontes. Si bien es

cierto que el origen de estos suelos es claro, aun cuando no existe ningún estudio pedogénico que lo confirme, no se puede evitar deducir que algún tipo de contaminación con materiales volcánicos pudiera existir, pues la retención de P, de alrededor de 50%, se considera excesiva para suelos que no tuvieren ninguna relación con depositación de tefras. Sólo las Fases casi planas o en posición depresiva tienen drenaje imperfecto; las concreciones y nódulos de Fe y Mn se encuentran en los horizontes bajo los 85 cm con una matriz de color pardo oliva (2.5Y). Las clases de Capacidad de Uso están relacionadas tanto con el drenaje imperfecto (puede ser IIIw) como con las pendientes excesivas como en el caso de los suelos que se encuentran en posición de coluvios o piedmonts (Clases IVe y VIe). En el Cuadro 5-13 se presentan las propiedades de la Serie los Copihues (Oxiaquic Dystrudept), considerada representativa de este grupo de suelos.

Cuadro 5-13. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil de la Serie los Copihues (CIREN, 2002)

| Profundidad (cm) | 0 - 19 | 19 - 48 | 48 - 84 | 84 - 120 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A _p | B ₁ | B ₂ | B ₃ |
| 2 - 1 | 1,7 | 1,9 | 1,5 | 1,5 |
| 1 - 0,5 | 3,6 | 2,6 | 2,4 | 3,1 |
| 0,5 - 0,25 | 6,2 | 4,2 | 3,9 | 4,3 |
| 0,25 - 0,10 | 10,1 | 8,3 | 6,7 | 8,1 |
| 0,10 - 0,05 | 15,7 | 12,5 | 11,9 | 11,3 |
| 2-0,05 | 37,5 | 29,6 | 26,6 | 28,3 |
| 0,05-0,002 | 35,3 | 27,3 | 22,8 | 26,5 |
| < 0,002 | 27,3 | 43,1 | 50,7 | 45,2 |
| Clase textural | FA | A | A | A |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,44 | 1,36 | 1,31 | 1,36 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 24,5 | 21,4 | 23,5 | 24,9 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 11,3 | 13,3 | 15,6 | 16,0 |
| pH _{agua} | 5,5 | 5,7 | 5,9 | 5,8 |
| Carbono orgánico (%) | 2,34 | 0,83 | 0,59 | 0,46 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | | | | |
| Ca | 2,19 | 1,53 | 1,87 | 2,04 |
| Mg | 1,18 | 0,98 | 1,21 | 1,24 |
| Na | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,11 |
| K | 0,32 | 0,19 | 0,15 | 0,12 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 3,80 | 2,80 | 3,33 | 3,51 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 15,3 | 13,9 | 12,0 | 17,6 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 4,06 | 3,63 | 3,69 | 3,66 |
| Retención de P (%) | 47,0 | 50,0 | 52,0 | 50,0 |
| Al ox + ½ Fe ox (%) | 0,51 | 0,40 | 0,36 | 0,32 |
| Saturación de bases (%) | 25,0 | 20,0 | 28,0 | 20,0 |

Andisols. Los suelos derivados de cenizas volcánicas en esta área se encuentran en posición de lomajes y de cerros con pendientes complejas y una topografía ondulada y disectada. Son suelos profundos (120 cm) que, en algunos casos se encuentran directamente sobre el micaesquisto parcialmente meteorizado (Figura 5-12, al final del Capítulo).

Los colores dominantes se mantienen en el matiz 10YR, sin embargo, un grupo de estos Andisols se han descrito con matices 7.5YR y 5YR. Estos colores más rojos generalmente están asociados a una mayor cantidad de rasgos de iluviación (cutanes) prominentes entre los 50 y 100 cm de profundidad, lo que indicaría un mayor grado de evolución de estos suelos. Las clases texturales se mantienen entre franca, franco limosa y franco arcillo limosa y con muy buen arraigamiento y actividad biológica en los horizontes más profundos. El contenido de CO varía entre 5 y 7% en los horizontes superficiales con un decrecimiento gradual en profundidad. Las mayores limitaciones que presentan estos suelos, independiente de las propias de los Andisols, están relacionadas con la topografía ondulada y montañosa y las pendientes excesivas, lo cual influye en que las Clases de Capacidad de Uso dominantes sean las Clases IVE hasta VIIe. Las Fases de menor pendiente (2 a 5%) pueden tener una mejor aptitud, pues se trata de suelos profundos, sin problemas de arraigamiento, buena permeabilidad y buen drenaje. En el Cuadro 5-14 se presentan las principales propiedades físicas y químicas de la Serie Quiripio (Acrudoxic Ultic Hapludand), considerada como representativa de este grupo de suelos.

Cuadro 5-14. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil de la Serie Quiripio (CIREN, 2002)

| Profundidad (cm) | 0 – 10 | 10 – 23 | 23 – 30 | 30 – 50 | 50 – 83 | 83 – 120 | |
|--|-----------------|-----------------|----------------|---------|-----------------|-----------------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁₁ | A ₁₂ | A ₂ | E | B ₁₁ | B ₁₂ | |
| 2 – 1 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | |
| 1 – 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | |
| 0,5 – 0,25 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 1,1 | |
| 0,25 – 0,10 | 2,1 | 2,1 | 1,9 | 1,9 | 1,7 | 2,1 | |
| 0,10 – 0,05 | 7,5 | 8,8 | 5,4 | 10,2 | 4,8 | 8,6 | |
| 2-0,05 | 11,3 | 12,9 | 8,9 | 13,9 | 8,1 | 12,6 | |
| 0,05-0,002 | 55,9 | 54,4 | 55,6 | 62,2 | 53,4 | 48,4 | |
| < 0,002 | 32,8 | 32,7 | 35,5 | 24,0 | 38,5 | 39,0 | |
| Clase textural | FAL | FAL | FAL | FL | FAL | FAL | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 0,70 | 0,80 | 0,74 | 0,76 | 0,73 | 0,68 | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 54,6 | 54,3 | 48,5 | 41,9 | 48,5 | 46,7 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 30,3 | 29,2 | 34,4 | 30,8 | 36,4 | 37,9 | |
| pH _{agua} | 5,6 | 5,9 | 5,9 | 5,9 | 5,9 | 5,8 | |
| Carbono orgánico (%) | 5,38 | 6,79 | 3,70 | 2,60 | 1,75 | 1,52 | |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 3,12 | 2,21 | 1,39 | 1,17 | 0,86 | 0,86 |
| | Mg | 1,32 | 0,64 | 0,41 | 0,42 | 0,41 | 0,48 |
| | Na | 0,15 | 0,13 | 0,18 | 0,28 | 0,27 | 0,40 |
| | K | 0,87 | 0,83 | 0,56 | 0,31 | 0,19 | 0,13 |
| | Al | 0,12 | 0,10 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 5,46 | 3,81 | 2,54 | 2,18 | 1,73 | 1,87 | |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 30,2 | 31,0 | 22,4 | 22,0 | 20,6 | 18,0 | |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 5,58 | 3,91 | 2,58 | 2,20 | 1,75 | 1,89 | |
| Saturación de Al (%) | 2,2 | 2,6 | 1,6 | 0,9 | 1,1 | 1,1 | |
| Retención de P (%) | 95,0 | 98,0 | 97,0 | 98,0 | 98,0 | 96,0 | |
| Al ox + ½Fe ox (%) | 2,97 | 3,16 | 2,74 | 3,05 | 2,92 | 2,96 | |
| Saturación de bases (%) | 18,0 | 12,0 | 11,0 | 10,0 | 8,0 | 10,0 | |

5.3 Características y propiedades de los suelos del Sector Údico - Isomésico

5.3.1 Suelos de la Cordillera de Los Andes

En estas áreas de la Cordillera de Los Andes existe una dominancia de suelos derivados de materiales volcánicos, provenientes de tefras de diferente granulometría y, consecuentemente, con diferentes grados de evolución. Es evidente, entonces, que estas diferencias se expresan a través de variadas propiedades que exhiben los suelos, aun cuando todos ellos posean un tipo de material de origen semejante. Con el fin de sistematizar y hacer comprensivo el conocimiento que se posee de los suelos de estas regiones, se propone una agrupación de ellos en tres clases, atendiendo a la mayor o menor evolución de los materiales de partida y a la presencia o ausencia de fenómenos de tixotropía.

De esta manera, se ha diferenciado un primer grupo de suelos que se ubica en los sectores más elevados de la Cordillera (desde 900 a 1.200 msnm) con una topografía de lomajes fuertes y cerros y cuya granulometría es de las más gruesas, de tal forma que todos ellos pertenecen a las Familias cinerítica y pumícea (figuras 5-13 y 5-14, al final del Capítulo). Los suelos son estratificados, alternando capas de pómez y arenas, de finas a gruesas. La mayoría de estos suelos, a causa de las fuertes pendientes en las que se encuentran sólo poseen aptitud forestal y, en la actualidad se presentan con una densa cubierta de bosque nativo. De esta manera, sólo existen algunos sectores localizados donde se ha identificado alguna erosión evidente. Tampoco se observan fenómenos tixotrópicos a causa de la juventud y escasa evolución de los materiales volcánicos. Dominan las Clases de Capacidad de Uso VI y VII.

Un segundo grupo de suelos que ocupan la misma posición que los del grupo anterior, es decir de lomajes fuertes, cerros y de montaña con pendientes muy escarpadas, se caracterizan por presentar una marcada tixotropía. Las tefras se han depositado, en discordancia, sobre roca basáltica que no muestra evidencias de meteorización (Figura 5-15, al final del Capítulo). En estos suelos, la retención de agua a 1500 kPa, en muestras húmedas, es superior a 100%, lo cual hace que frente a determinada alteración, tal como un movimiento sísmico, el suelo se comporte como un líquido, generando deslizamientos que se ven facilitados por las fuertes pendientes y el contacto discordante con la roca subyacente. Cuando se producen deslizamientos a causa de la tixotropía, la cubierta vegetal no es capaz de sostener el suelo y, esta es la razón para considerarlos como extremadamente susceptibles a procesos erosivos. Todos ellos se consideran con Clase VII de Capacidad de Uso y en casos especiales en Clase VIII (Figura 5-16, al final del Capítulo). Para el análisis de estos suelos se han utilizado las Series Chapo, Los Riscos, Ralún y la Asociación Los Nevados. En el Cuadro 5-15 se presentan las principales propiedades físicas y químicas de la Serie Los Riscos (Acrudoxic Hydrudand), considerada como representativa de este grupo de suelos.

Cuadro 5-15. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil de la Serie Los Riscos (CIREN, 2003)

| Profundidad (cm) | 0 - 9 | 9 - 22 | 22 - 40 | 40 - 65 | 65 - 100 | |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | A ₂ | B ₁ | B ₂ | BC | |
| 2-0,05 | 83,2 | 79,2 | 93,2 | 93,2 | 89,2 | |
| 0,05-0,002 | 7,3 | 9,3 | 1,3 | 1,3 | 3,3 | |
| < 0,002 | 9,5 | 11,5 | 5,5 | 5,5 | 7,5 | |
| Clase textural | aF | Fa | a | a | a | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 0,53 | 0,86 | 0,48 | 0,41 | 0,44 | |
| Agua retenida 33 kPa, suelo seco (%) | 56,4 | 32,2 | 31,9 | 24,8 | 35,1 | |
| Agua retenida 1.500 kPa, suelo seco (%) | 56,2 | 26,3 | 28,8 | 24,0 | 30,4 | |
| Agua retenida 1.500 kPa, suelo húmedo (%) | 115,2 | 31,5 | 125,3 | 94,9 | 124,0 | |
| pH _{agua} | 5,6 | 5,9 | 6,1 | 6,2 | 6,3 | |
| Carbono orgánico (%) | 12,6 | 6,0 | 4,2 | 3,7 | 2,7 | |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 2,41 | 0,39 | 0,47 | 0,71 | 1,0 |
| | Mg | 0,90 | 0,16 | 0,20 | 0,25 | 0,32 |
| | Na | 0,22 | 0,09 | 0,10 | 0,06 | 0,05 |
| | K | 0,26 | 0,06 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| | Al | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 3,79 | 0,70 | 0,80 | 1,05 | 1,40 | |
| Acidez a pH 8,2 | 73,3 | 52,4 | 49,9 | 48,0 | 46,1 | |
| CIC (pH 7) (cmol _c kg ⁻¹) | 66,6 | 52,7 | 49,1 | 49,0 | 46,7 | |
| CIC (suma) (cmol _c kg ⁻¹) | 77,0 | 53,1 | 50,7 | 49,1 | 47,5 | |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 3,89 | 0,73 | 0,81 | 1,06 | 1,40 | |
| Saturación de Al por CICE (%) | 2,6 | 4,1 | 1,2 | 0,9 | 0,0 | |
| Densidad Óptica (ODOE) | 0,74 | 0,56 | 0,43 | 0,25 | 0,27 | |
| Retención de P (%) | 99 | 99 | 99 | 99 | 99 | |
| Si ox (%) | 2,02 | 2,51 | 3,60 | 3,36 | 4,31 | |
| Al ox + ½ Fe ox (%) | 5,76 | 7,29 | 8,86 | 7,97 | 9,32 | |
| Índice Melánico | 2,24 | 2,15 | 2,49 | 2,71 | 2,40 | |
| Saturación de bases (pH 7) (%) | 5,7 | 1,3 | 1,6 | 2,1 | 3,0 | |
| Saturación de bases (suma) (%) | 4,9 | 1,3 | 1,6 | 2,1 | 2,9 | |

El tercer grupo de suelos que se puede identificar en esta Sub Región corresponde a suelos que también se encuentran en posición de lomajes fuertes y de cerros de la Cordillera de Los Andes. Tienen las propiedades de los Andisols muy bien representadas, sin tixotropía. Corresponde a suelos moderadamente profundos a profundos, algunos con sustrato de pómez con diferentes grados de meteorización. Todos presentan buen drenaje con pendientes que pueden variar de 15 a 30%. Las clases texturales son medias y finas, pero algunos suelos muestran estratificación con materiales más gruesos, producto de las deposiciones sucesivas de tefras de granulometría variada. Corresponden al concepto de Hapludand, pero con una CICE inferior a 2 cmol_c kg⁻¹, por lo cual se les identifica dentro del concepto del Sub Grupo Acrudoxic. La mayor limitante de estos suelos la constituye las elevadas pendientes, por lo cual las Clases de Capacidad de Uso pueden variar entre IV y VII.

5.3.2 Suelos de la Pre - Cordillera de Los Andes

En estos sectores precordilleranos se puede identificar un grupo de suelos localizados entre los 300 y 900 msnm, con un débil desarrollo de perfil, moderadamente profundos, en posición de lomajes y de cerros, con pendientes que pueden variar desde 15 hasta 50%. Se trata de suelos derivados de cenizas y arenas volcánicas de variada granulometría que se han depositado sobre arenas gruesas y escoria volcánica, la mayoría de origen basáltico. Si bien es cierto que los materiales parentales son volcánicos, estos suelos no han desarrollado las propiedades ándicas en su plenitud. De esta forma, presentan una Db inferior a 1 Mg m^{-3} , pero la retención de P no alcanza 85% en todos los horizontes, al igual que ocurre con $[\text{Al}_{\text{ox}} + \frac{1}{2}\text{Fe}_{\text{ox}}]$ que no llega a 2% en la mayoría de los horizontes, aun cuando los valores que da el laboratorio son próximos a esa cifra, requerida para ser considerado como un Andisol.

A causa de la granulometría gruesa que domina en la mayoría de las capas, la posición en la Cordillera de Los Andes y las pendientes fuertes en que se encuentran estos suelos, se podría asumir que la ausencia de propiedades ándicas proviene de una falta de evolución de las tefras originales hacia minerales de ordenamiento de rango corto (MORC). Se estima como menos probable que se trate de una pedogénesis más avanzada, es decir, una evolución desde los MORC hacia minerales cristalinos. De todas maneras la falta de estudios acerca de la pedogénesis de estos suelos impide definir, en forma clara, la orientación de los procesos que han ocurrido en estos suelos. Esta es la razón por la que han sido clasificados como Andic Dystrudepts. La mayor limitante de uso de estos suelos continúa siendo la posición de lomajes fuertes y de cerros, por lo que presentan Clases VI y VII de Capacidad de Uso. En el Cuadro 5-16 se presentan las principales propiedades físicas y químicas de la Serie Choshuenco (Andic Dystrudept), considerada como representativa de este grupo de suelos.

Cuadro 5-16. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil de la Serie Choshuenco (CIREN, 2003)

| Profundidad (cm) | 0 - 29 | 29 - 54 | 54 - 86 |
|--|----------------|-----------------|-----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | B _{w1} | B _{w2} |
| 2 - 1 | 8,4 | 13,2 | 8,5 |
| 1 - 0,5 | 10,5 | 12,1 | 9,6 |
| 0,5 - 0,25 | 13,2 | 10,2 | 9,4 |
| 0,25 - 0,10 | 20,6 | 17,5 | 18,5 |
| 0,10 - 0,05 | 20,3 | 13,3 | 16,7 |
| 2-0,05 | 73,0 | 66,4 | 62,8 |
| 0,05-0,002 | 18,8 | 22,3 | 21,4 |
| < 0,002 | 8,2 | 11,3 | 15,8 |
| Clase textural | Fa | Fa | Fa |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 0,93 | 0,91 | 0,89 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 23,9 | 27,4 | 32,6 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 16,1 | 16,0 | 17,8 |
| pH _{agua} | 5,6 | 5,7 | 5,6 |
| Carbono orgánico (%) | 4,38 | 3,44 | 4,12 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | | | |
| Ca | 2,39 | 1,43 | 1,22 |
| Mg | 0,45 | 0,47 | 0,39 |
| Na | 0,10 | 0,06 | 0,06 |
| K | 0,10 | 0,07 | 0,05 |
| Al | 0,16 | 0,07 | 0,05 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 3,04 | 2,03 | 1,72 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 25,0 | 26,9 | 29,2 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 3,20 | 2,10 | 1,77 |
| Saturación de Al (%) | 5,0 | 3,0 | 3,0 |
| Retención de P (%) | 63,0 | 87,0 | 92,0 |
| Al ox + ½ Fe ox (%) | 1,07 | 1,98 | 2,41 |
| Índice Melánico | 1,95 | 1,66 | 1,66 |
| Saturación de bases (%) | 12,0 | 8,0 | 6,0 |

En amplios sectores, entre los inicios de la Precordillera de Los Andes y la Depresión Intermedia, se ha descrito un grupo de suelos cuyo rasgo común más sobresaliente lo constituyen los colores grises y pardo muy oscuro a negro. Se trata de suelos profundos que pueden llegar hasta los dos metros antes de alcanzar el sustrato. Están formados a partir de la meteorización de tefras finas que se ubican en planos de origen lacustre o aluvial, teniendo como sustrato a gravas y piedras redondeadas o sub redondeadas de origen aluvial, o bien, sedimentos fluvio-glaciales con diferentes grados de cementación. El horizonte superficial tiene un contenido de CO superior a 6% y, en adición a las propiedades ándicas, presentan un valor y un croma (Munsell) inferior a 2 conjuntamente con un índice melánico inferior a 1,7. Las clases texturales varían entre francas, franco limosas y franco arcillo limosas, con estructura bien desarrollada y una excelente penetración radical. Como ocurre en la mayoría de estos suelos la SB es muy baja, generalmente bajo 10% y, en algunos casos, es tan baja como 1%. Se trata de suelos muy productivos y con buena aptitud agrícola que, a pesar de las limitantes propias de los Andisols, pueden llegar a tener Clase II de Capacidad de Uso. Se han detectado como limitantes más importantes en las Fases

reconocidas de estos suelos, el drenaje imperfecto y las pendientes de ligera a moderadamente onduladas, que explican una disminución en su aptitud. Para esta discusión se han considerado las Series Calafquén, Puerto Fonk (figuras 5-17 y 5-18, al final del Capítulo) y Piedras Negras por considerarlas que representan en mejor forma las características de este grupo. En el Cuadro 5-17 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de la Serie Calafquén (Acruodiox Fulvudand), que ejemplifica en buena forma a esta clase de suelos.

Cuadro 5-17. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil de la Serie Calafquén (CIREN, 2003)

| Profundidad (cm) | 0 - 24 | 24 - 45 | 45 - 70 | |
|--|----------------|-----------------|-----------------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A _p | B _{w1} | B _{w2} | |
| 2 - 1 | 0,4 | 0,7 | 2,4 | |
| 1 - 0,5 | 0,9 | 1,6 | 2,0 | |
| 0,5 - 0,25 | 2,9 | 2,2 | 1,7 | |
| 0,25 - 0,10 | 8,4 | 8,2 | 4,2 | |
| 0,10 - 0,05 | 16,4 | 12,6 | 8,2 | |
| 2-0,05 | 29,2 | 25,4 | 18,6 | |
| 0,05-0,002 | 43,3 | 39,2 | 39,0 | |
| < 0,002 | 27,5 | 35,5 | 42,5 | |
| Clase textural | F | FA | A | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 0,62 | 0,63 | 0,61 | |
| Agua retenida 33 kPa, suelo seco (%) | 57,4 | 61,4 | 73,3 | |
| Agua retenida 1.500 kPa, suelo seco (%) | 37,6 | 38,3 | 46,3 | |
| Agua retenida 1.500 kPa, suelo húmedo (%) | 39,1 | 51,3 | 52,4 | |
| pH _{agua} | 5,4 | 5,5 | 5,6 | |
| Carbono orgánico (%) | 10,25 | 10,11 | 7,82 | |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 4,31 | 0,53 | 0,24 |
| | Mg | 1,46 | 0,20 | 0,08 |
| | Na | 0,09 | 0,07 | 0,08 |
| | K | 0,14 | 0,06 | 0,03 |
| | Al | 0,33 | 0,25 | 0,03 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 6,00 | 0,86 | 0,43 | |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 57,5 | 65,6 | 58,4 | |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 6,33 | 1,11 | 0,46 | |
| Saturación de Al (%) | 5,0 | 23,0 | 7,0 | |
| Retención de P (%) | 97 | 99 | 99 | |
| Al ox + ½ Fe ox (%) | 2,91 | 4,05 | 4,93 | |
| Índice Melánico | 1,71 | 1,63 | 1,71 | |
| Saturación de bases (%) | 10,0 | 1,0 | 1,0 | |

5.3.3 Suelos de la Depresión Intermedia

Al igual que en la zona de la Precordillera existe una clara dominancia de los suelos derivados de cenizas volcánicas con algunas características que los hacen diferentes entre sí, tales como clases de drenaje, presencia o ausencia de horizontes limitantes (duripán, horizonte plácico), clases texturales extremas o diferencias en pendiente. El análisis de esta Sub Región se basa justamente en estos parámetros para establecer categorías o clases de suelos derivados de materiales volcánicos. En forma ocasional se han descrito suelos que solamente presentan una contaminación con materiales volcánicos pero que no han desarrollado las propiedades ándicas (Inceptisols); y otros de mayor desarrollo pedogénico, con horizontes B de iluviación (Ultisols).

Andisols típicos. Se les denomina Andisols *típicos*, porque responden a lo que se podría considerar el concepto central de un suelo derivado de cenizas volcánicas holocénicas, es decir, un *trumao*. Además, este atributo permite diferenciarlos de otros grupos también importantes de suelos derivados de cenizas volcánicas que presentan algunas propiedades diferentes, tales como drenaje imperfecto, presencia de duripán, horizonte plácico o presencia de un epipedón melánico. Se trata de suelos profundos y, ocasionalmente, moderadamente profundos, de clases texturales franca, franco limosa y franco arcillo limosa con colores que varían entre los matices 10YR, 7.5YR y 5YR, con valores y cromas (Munsell) bajos (2/1 - 2/2 - 3/2) en los horizontes superficiales; en cambio, en los horizontes más profundos los valores y cromas suben hasta, generalmente, 4/4, razón por la que algunos edafólogos se refieren a ellos como suelos de un *negro sobre amarillo*. Ocupan una posición de terrazas remanentes de origen aluvial o fluvio-glacial con topografía plana a ligeramente ondulada y excepcionalmente de lomajes suaves. Son suelos bien drenados, de buena permeabilidad y muy buen arraigamiento hasta los horizontes más profundos. La secuencia normal de horizontes diagnósticos es de un epipedón úmbrico sobre un horizonte cámbico, el cual puede presentar rasgos de iluviación en forma de cutanes principalmente en canales de raíces; sin embargo, estos rasgos de iluviación son insuficientes para considerar la presencia de un horizonte argílico. Algunos de ellos pueden presentar un sustrato de tobas volcánicas o un depósito de gravas de origen fluvio-glacial con diferentes grados de compactación y cementación, bajo los 150 cm de profundidad.

Además de las propiedades ándicas que presentan los suelos, cabe destacar el alto contenido de CO en los horizontes superficiales que puede llegar a 12,5%, con un decrecimiento gradual en profundidad. En algunos suelos puede existir un horizonte subsuperficial con un incremento en CO debido a la presencia de suelos enterrados, fenómeno frecuente en los suelos derivados de tefras holocénicas. Llama la atención los elevados valores de la CIC que, en el caso del suelo Osorno, puede llegar a casi 67 cmol_c kg⁻¹. En términos generales se puede observar que no existe una relación directa entre el contenido de CO y la CIC. Esta falta de dependencia de la CIC de la fracción orgánica, a pesar del elevado contenido de esta última, se atribuye a la presencia de los MORC que, en estos suelos, constituyen la fracción mineralógica más importante y, por lo tanto, serían responsables de la mayor parte de la CIC.

Algunos suelos tienen un horizonte superficial que cumple con los requerimientos de profundidad, espesor y contenido de CO para ser considerado como epipedón melánico, sin embargo no cumplen con los requerimientos de color y/o índice melánico, razón por la cual se han clasificado en el Gran Grupo Fulvudand. Esta es la única propiedad

diferenciante que los separa de los Andisols típicos, pues el resto de sus características son semejantes.

Otros suelos moderadamente profundos, en posición de terrazas aluviales, se encuentran sobre un depósito de gravas redondeadas y subredondeadas con diferente grado de cementación que, en algunos casos, incluso puede desarrollar una clase de *fierrillo* discontinuo, que no respondería a la definición estricta de un horizonte plácico. Sin embargo, puede afectar el drenaje de los suelos que podría calificarse de moderado a imperfecto en algunas Fases. En algunos suelos la CICE es inferior a $2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ en algunos horizontes que totalizan más de 30 cm de espesor. Todos los suelos de este grupo poseen una muy buena aptitud agrícola: dominan las Clases de Capacidad de Uso II y III. Existen algunas excepciones, hacia ambos extremos, como las Fases de la Serie Corte Alto de Capacidad de Uso I; otras Fases de Clase VI de la Serie Paillaco por drenaje imperfecto y la Clase VII de la Serie Osorno por pendiente y riesgo de erosión. Para el análisis de este grupo se utilizaron las Series Corte Alto, Osorno, (figuras 5-19 y 5-20, al final del Capítulo), Paillaco, Puerto Octay, Crucero, San Pedro, Llastuco, Malihue, Muticao y Pelchuquín (figuras 5-21 y 5-22, al final del Capítulo). Para ejemplarizar las características de estos suelos se presentan en los Cuadros 5-18 y 5-19 las propiedades químicas y físicas de un pedón de la Serie Corte Alto (Cuadro 5-18) y un pedón de la Serie Paillaco (Cuadro 5-19). La Serie Corte Alto (Typic Hapludand) corresponde a un Andisol muy profundo, estratificado que ocupa la posición de terrazas remanentes y lomajes suaves y con las propiedades ándicas muy bien expresadas. El segundo caso, la Serie Paillaco (Typic Hapludand), corresponde a un Andisol que ocupa terrazas aluviales más recientes y posee una menor profundidad que el suelo Corte Alto; además presenta un sustrato aluvial de gravas redondeadas con variable grado de cementación.

Cuadro 5-18. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil de la Serie Corte Alto (CIREN, 2003)

| Profundidad (cm) | 0 - 18 | 18 - 47 | 47 - 77 | 77 - 122 | 122 - 170 | 170 - 194 | |
|--|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A | B _{w1} | B _{w2} | 2C ₁ | 2C ₂ | 3C ₃ | |
| 2 - 1 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | |
| 1 - 0,5 | 1,4 | 1,4 | 2,6 | 3,5 | 2,4 | 3,8 | |
| 0,5 - 0,25 | 4,9 | 4,8 | 8,2 | 18,0 | 7,9 | 12,4 | |
| 0,25 - 0,10 | 7,6 | 10,3 | 16,2 | 35,6 | 24,0 | 22,3 | |
| 0,10 - 0,05 | 6,0 | 12,3 | 22,0 | 22,9 | 34,3 | 14,7 | |
| 2-0,05 | 20,4 | 29,1 | 49,5 | 80,2 | 68,9 | 53,5 | |
| 0,05-0,002 | 33,8 | 41,5 | 38,6 | 18,1 | 30,6 | 31,0 | |
| < 0,002 | 45,8 | 29,4 | 11,9 | 1,7 | 0,5 | 15,5 | |
| Clase textural | A | FA | F | aF | Fa | Fa | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 0,86 | 0,88 | 0,93 | 0,85 | 0,66 | 0,76 | |
| Agua retenida 33 kPa, suelo seco (%) | 41,7 | 42,7 | 45,7 | 55,3 | 75,6 | 61,1 | |
| Agua retenida 1.500 kPa, suelo seco (%) | 28,7 | 24,4 | 24,6 | 22,3 | 32,5 | 26,8 | |
| pH _{agua} | 5,6 | 5,3 | 5,8 | 6,2 | 6,2 | 6,3 | |
| Carbono orgánico (%) | 6,76 | 1,26 | 0,84 | 0,88 | 0,43 | 0,50 | |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 9,4 | 3,1 | 4,8 | 2,0 | 1,7 | 6,0 |
| | Mg | 2,4 | 1,0 | 1,2 | 0,4 | 0,2 | 1,6 |
| | Na | 0,1 | 0,2 | 0,7 | 0,3 | 0,2 | 1,8 |
| | K | 1,6 | 1,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| | Al | 0,7 | 1,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 13,5 | 5,5 | 6,8 | 2,8 | 2,3 | 9,6 | |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 46,8 | 34,2 | 32,9 | 29,5 | 33,7 | 30,9 | |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 14,2 | 6,6 | 7,0 | 2,9 | 2,4 | 9,8 | |
| Saturación de Al (%) | 5,0 | 17,0 | 3,0 | 3,0 | 4,0 | 2,0 | |
| Retención de P (%) | 89,0 | 96,0 | 99,0 | 99,0 | 99,0 | 91,0 | |
| Al ox + ½ Fe ox (%) | 1,9 | 2,2 | 2,15 | 5,3 | 7,0 | 2,1 | |
| Saturación de bases (%) | 34,0 | 24,0 | 32,0 | 14,0 | 11,0 | 37,0 | |



Cuadro 5-19. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil de la Serie Paillaco (CIREN, 2003)

| Profundidad (cm) | 0 – 18 | 18 – 31 | 31 – 46 | 46 – 65 |
|--|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A_p | B₁ | BC₁ | BC₂ |
| 2 – 1 | 1,2 | 1,3 | 2,3 | 3,6 |
| 1 – 0,5 | 2,6 | 2,7 | 3,9 | 5,4 |
| 0,5 – 0,25 | 3,8 | 3,1 | 3,7 | 5,3 |
| 0,25 – 0,10 | 5,3 | 3,4 | 3,1 | 4,0 |
| 0,10 – 0,05 | 9,6 | 7,0 | 5,5 | 6,4 |
| 2-0,05 | 22,6 | 17,6 | 18,7 | 24,7 |
| 0,05-0,002 | 45,1 | 52,7 | 39,6 | 37,7 |
| < 0,002 | 32,3 | 29,7 | 41,8 | 37,6 |
| Clase textural | FA | FAL | AL | FA |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 0,81 | 0,74 | 0,66 | 0,58 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 59,2 | 50,8 | 53,1 | 43,5 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 34,7 | 37,1 | 41,0 | 27,9 |
| pH _{agua} | 5,6 | 5,9 | 6,4 | 6,1 |
| Carbono orgánico (%) | 8,25 | 2,59 | 2,57 | 1,44 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | | | | |
| Ca | 2,59 | 2,49 | 2,58 | 2,98 |
| Mg | 0,47 | 0,68 | 0,69 | 0,39 |
| Na | 0,33 | 0,07 | 0,05 | 0,03 |
| K | 0,16 | 0,06 | 0,03 | 0,03 |
| Al | 0,04 | 0,01 | 0,00 | 0,01 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 3,55 | 3,30 | 3,35 | 3,43 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 42,2 | 34,9 | 36,5 | 27,0 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 3,59 | 3,31 | 3,35 | 3,44 |
| Saturación de Al (%) | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Retención de P (%) | 98,0 | 99,0 | 99,0 | 99,0 |
| Al ox + ½ Fe ox (%) | 3,54 | 4,67 | 4,14 | 3,53 |
| Índice Melánico | 2,14 | 2,70 | 4,56 | 4,00 |
| Saturación de bases (%) | 8,0 | 9,0 | 9,0 | 13,0 |

Andisols con duripán y drenaje moderado. Estos suelos, moderadamente profundos, se han desarrollado por la sedimentación de cenizas volcánicas sobre terrazas aluviales o planos de depositación fluvio-glaciales, a alturas que varían entre los 40 y los 150 msnm y, solo en casos excepcionales, pueden llegar a los 200 msnm. Las clases texturales van desde franca, franco limosa y franco arcillo limosa y en aquellos suelos donde la influencia aluvial es más evidente, las clases texturales son más gruesas, tales como franco arenosa. La topografía es plana a casi plana (1 a 3%), con permeabilidad moderada y drenaje moderado. Los colores dominantes son el pardo y el negro, en el matiz 10YR y rara vez en el 7.5YR. En los horizontes subsuperficiales y, en particular en aquellos horizontes que se encuentran inmediatamente sobre el sustrato, se han descrito oxidaciones abundantes de color pardo fuerte (7.5YR5/6) y rojo amarillento (5YR5/6). Cuando las gravas de origen aluvial o fluvio-glacial, que constituyen el sustrato de los suelos, están cementadas, se forma un duripán que limita las condiciones de drenaje del suelo.

Algunos suelos (Serie Panguipulli) han desarrollado un epipedón melánico, a causa del alto contenido de CO, los valores y cromas (Munsell) muy bajos y un índice melánico inferior a 1,7. Otros suelos, tales como Itropulli y Lanco (figuras 5-23 y 5-24, al final del Capítulo) se encuentran en posición de terrazas recientes o remanentes y desarrollados sobre un sustrato fluvio-glacial con diferentes grados de cementación, que también se considera un duripán. Presentan abundante actividad biológica y excelente penetración radical hasta la capa limitante. La aptitud agrícola de estos suelos es inferior a la de los denominados *Andisols típicos*, a causa de su menor profundidad efectiva y a las condiciones de drenaje moderado. Las Clases de Capacidad de Uso que dominan varían entre III y IV, dependiendo exclusivamente del drenaje. Los suelos considerados representativos de este subgrupo son Panguipulli, San José, Loncoche, Itropulli y Lanco. En el Cuadro 5-20 se presentan las propiedades químicas y físicas de un pedón de la Serie Itropulli (Typic Durudand), considerada como representativa de este grupo.

Cuadro 5-20. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil de la Serie Itropulli (CIREN, 2003)

| Profundidad (cm) | 0 - 16 | 16 - 35 | 35 - 58 | 58 - 100 |
|--|----------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A_p | AB | B_{w1} | B_{w2} |
| 2 - 1 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 1,0 |
| 1 - 0,5 | 0,9 | 0,8 | 1,0 | 1,2 |
| 0,5 - 0,25 | 1,4 | 1,0 | 1,2 | 1,5 |
| 0,25 - 0,10 | 3,7 | 3,2 | 2,4 | 2,2 |
| 0,10 - 0,05 | 12,2 | 7,5 | 7,5 | 5,4 |
| 2-0,05 | 19,0 | 13,3 | 12,7 | 11,4 |
| 0,05-0,002 | 45,4 | 52,3 | 52,6 | 43,6 |
| < 0,002 | 35,6 | 34,4 | 34,6 | 45,0 |
| Clase textural | FAL | FAL | FAL | AL |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 0,62 | 0,75 | 0,55 | 0,58 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 59,1 | 61,6 | 63,1 | 60,8 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 40,2 | 47,1 | 49,1 | 45,0 |
| pH _{agua} | 6,0 | 5,7 | 6,1 | 5,7 |
| Carbono orgánico (%) | 4,60 | 4,10 | 2,69 | 2,19 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | | | | |
| Ca | 4,85 | 1,65 | 1,72 | 2,22 |
| Mg | 1,83 | 0,30 | 0,20 | 0,40 |
| Na | 0,47 | 0,24 | 0,27 | 0,24 |
| K | 0,17 | 0,07 | 0,04 | 0,02 |
| Al | 0,05 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 7,32 | 2,26 | 2,23 | 2,88 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 42,7 | 35,9 | 36,5 | 37,4 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 7,37 | 2,27 | 2,24 | 2,88 |
| Saturación de Al (%) | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Retención de P (%) | 97,0 | 99,0 | 99,0 | 99,0 |
| Al ox + ½ Fe ox (%) | 3,54 | 3,67 | 3,80 | 3,37 |
| Índice Melánico | 2,18 | 2,41 | 2,95 | 8,25 |
| Saturación de bases (%) | 17,0 | 6,0 | 6,0 | 8,0 |

Andisols con régimen ácuico (*Nadis*). Este grupo de suelos presenta como rasgo común, además de las propiedades ándicas, un drenaje imperfecto que puede llegar, en algunas Fases, a muy mal drenadas. El origen del mal drenaje se encuentra tanto en la topografía como en la morfología de los suelos. Generalmente ocupan las posiciones planas o deprimidas del paisaje (Figura 5-25, al final del Capítulo) y como sustrato se ha descrito un depósito fluvio-glacial formado por gravas y arenas que constituye un duripán o un horizonte plácico (fierrillo) o ambos, el cual no sólo impide el paso del agua sino también de las raíces.

El *fierrillo* constituye una capa de pocos centímetros de espesor, extremadamente firme y fuertemente cementado con hierro y aluminio, en el cual se mezclan los colores negro (N 2/0) y rojo amarillento (5YR5/8) (figuras 5-26 a 5-30, al final del Capítulo). En la mayoría de los casos se presenta como una capa discontinua la cual ayuda a mejorar las condiciones de drenaje de los suelos. Estos horizontes diagnósticos son moderados a fuertemente ácidos, con un contenido de CO muy elevado para este tipo de horizontes; Palma (1993) informa valores desde 1,1 a 5,6%. La misma autora detectó que el Fe es el elemento más abundante en los *fierrillos* cementados, particularmente el Fe extraíble en solución de oxalato ácido (es decir el Fe de baja cristalinidad más el Fe complejoado con la MO) conjuntamente con el Fe extraíble con una solución de ditionito-citrato (total del Fe libre del suelo). El Al sigue una tendencia semejante, pero en menor proporción, por lo que la autora concluye que el Fe constituye el elemento fundamental en la cementación de estos horizontes. El Si y el Mn se encuentran representados en cantidades ínfimas por lo que no tendrían responsabilidad en la cementación del *fierrillo*.

La profundidad de los suelos es muy variable, dependiendo de la profundidad a la que se encuentra la capa limitante, por lo tanto, la variación va desde Fases muy delgadas hasta Fases muy profundas. Las pendientes dominantes van de casi plana (1 a 3%) hasta ligeramente ondulada (2 a 5 %), de tal manera que el escurrimiento superficial es lento. En algunos suelos, el nivel freático se puede encontrar cercano a la superficie en invierno y desciende bajo 1 m en verano, en cambio, otros suelos permanecen saturados todo el año. Estas mismas características se mantienen en los suelos del Archipiélago de Chiloé y, en particular, tienen una amplia distribución en los sectores centrales de la Isla Grande de Chiloé. En las figuras 5-31 y 5-32 se muestran un perfil de la Serie Calonje y los paisajes asociados a este tipo de suelos.

El horizonte superficial suele ser un horizonte O, constituido por un colchón de *Sphagnum*, raíces y hojas, y dependiendo de su espesor, puede constituir un epipedón hístico. Su color más frecuente es negro, pero variando entre los matices 5YR y 10YR. En profundidad siempre existe un buen desarrollo del perfil que implica la presencia de un horizonte cámbico y en varios casos, como ocurre en las Series Frutillar (figuras 5-33 y 5-34, al final del Capítulo), Llanquihue y Maullín se ha desarrollado un horizonte con evidencias de iluviación de arcillas. Respecto de estos últimos suelos surge la discusión si poseen un horizonte argílico o no, debido a que no siempre se aprecia con claridad, en los análisis de laboratorio, un incremento de la arcilla hacia los horizontes subsuperficiales. Esto podría explicarse por los problemas de dispersión que normalmente presentan estos materiales volcánicos. Sin embargo, en las descripciones de terreno sí se puede apreciar un incremento de la fracción arcilla, pues los perfiles texturales generalmente van desde franco o franco limosa en superficie hasta franco arcillo limosa, e incluso franco arcillosa en los horizontes B.

Los rasgos redoximórficos aparecen desde los 30 cm hasta el contacto con el duripán o el *fierrillo*, en cantidad variable y en un color rojo amarillento (5YR4/6-5/8). El duripán constituye

un horizonte cementado con sílice, que puede ser discontinuo y cuyo color dominante es gris oscuro (10YR 4/1) o gris (10YR5/1).

En términos generales, se puede considerar que estos suelos poseen una aptitud moderada para praderas, aun cuando es necesario considerar caso por caso. En todos ellos existe una dominancia de las Clases de Drenaje 3 (imperfectamente drenado) hasta 1 (muy pobremente drenado); sin embargo, se han descrito Fases de la Serie Frutillar con Clase de Drenaje 4 (moderadamente bien drenado) y Clase de Capacidad de Uso IIw. Es necesario considerar, eso sí, que la Serie Frutillar constituye uno de los suelos más profundos de esta categoría. Este mismo análisis se puede aplicar a los suelos Llanquihue y Maullín. Todos los suelos se han clasificado en los Grandes Grupos Duraquand, Endoaquand y Placaquand. En el Cuadro 5-21 se presentan las propiedades de un pedón de la Serie Maullín (Hydric Endoaquand), considerado como representativo de este grupo.

Cuadro 5-21. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil de la Serie Maullín (CIREN, 2003)

| Profundidad (cm) | 0 - 13 | 13 - 30 | 30 - 52 | 52 - 90 | 90 - 112 | |
|--|----------------|----------------|---------|----------------|-----------------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | A ₂ | BA | B _t | B _{qs} | |
| 2-0,05 | 78,9 | 84,8 | 88,9 | 73,2 | 81,2 | |
| 0,05-0,002 | 10,4 | 4,4 | 4,4 | 17,3 | 9,3 | |
| < 0,002 | 10,8 | 10,8 | 6,8 | 9,5 | 9,5 | |
| Clase textural | Fa | aF | a | Fa | aF | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 0,54 | 0,60 | 0,57 | 0,52 | 1,06 | |
| Agua retenida 33 kPa, suelo seco (%) | 60,5 | 34,4 | 38,8 | 27,5 | 26,8 | |
| Agua retenida 1.500 kPa, suelo seco (%) | 47,9 | 31,1 | 34,1 | 19,5 | 21,0 | |
| Agua retenida 1.500 kPa, suelo húmedo (%) | 63,1 | 76,8 | 85,9 | 99,0 | 125,2 | |
| pH _{agua} | 4,9 | 5,3 | 5,4 | 5,5 | 5,5 | |
| Carbono orgánico (%) | 18,9 | 13,3 | 8,0 | 3,0 | 5,3 | |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 0,40 | 0,19 | 0,12 | 0,10 | 0,17 |
| | Mg | 0,26 | 0,13 | 0,10 | 0,03 | 0,05 |
| | Na | 0,17 | 0,10 | 0,10 | 0,07 | 0,10 |
| | K | 0,26 | 0,15 | 0,08 | 0,03 | 0,02 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 1,09 | 0,57 | 0,40 | 0,23 | 0,34 | |
| Al _(KCl) (cmol _c kg ⁻¹) | 2,21 | 0,83 | 0,16 | 0,01 | 0,01 | |
| Acidez (pH 8,2) | 89,8 | 72,3 | 68,9 | 39,4 | 48,2 | |
| CIC (pH 7) (cmol _c kg ⁻¹) | 59,5 | 53,1 | 62,9 | 38,7 | 41,0 | |
| CIC (por suma) (cmol _c kg ⁻¹) | 90,8 | 72,9 | 69,3 | 36,6 | 48,5 | |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 3,30 | 1,40 | 0,56 | 0,24 | 0,35 | |
| Saturación de Al (%) por CICE | 67,0 | 59,3 | 28,6 | 4,2 | 2,9 | |
| Retención de P (%) | 97,0 | 99,0 | 99,0 | 99,0 | 99,0 | |
| Al ox + ½ Fe ox (%) | 1,54 | 2,77 | 6,48 | 4,44 | 6,80 | |
| Índice Melánico | 2,03 | 2,02 | 2,38 | 2,26 | 2,00 | |
| Densidad óptica (ODOE) | 0,43 | 1,26 | 0,89 | 0,29 | 0,50 | |
| Saturación de bases (%) a pH 7 | 1,8 | 1,1 | 0,6 | 0,6 | 0,8 | |

Suelos derivados de cenizas volcánicas, no Andisols. En esta categoría se incluyen suelos derivados de cenizas volcánicas depositadas sobre planos aluviales, o preferentemente fluvioglaciales. Los elementos de juicio que se han evaluado para considerarlos como derivados de cenizas volcánicas, con una mayor evolución pedogénica, son la Db, cercana o ligeramente superior a 1 Mg m^{-3} , una elevada retención de P que, en algunos horizontes superficiales puede llegar a 98% y un $[\text{Al}_{\text{ox}} + \frac{1}{2}\text{Fe}_{\text{ox}}]$ sobre 2% en los horizontes superficiales y cercanos a 1% en los horizontes subsuperficiales. Es interesante destacar que todos estos parámetros presentan una distribución irregular con la profundidad, al igual que el resto de las propiedades medidas, lo cual de alguna manera permite inferir la depositación de capas sucesivas de diferentes tefras.

Las clases texturales varían desde franca, franco limosa, franco arcillo limosa hasta arcillosa en los horizontes más profundos. Presentan un buen desarrollo de perfil evidenciado por la presencia de horizontes cámbicos. Un tipo frecuente de sustrato, lo constituye una toba con diferentes grados de alteración, generalmente bajo un metro de profundidad. Los suelos que ocupan sectores deprimidos en el paisaje y en posición topográfica baja con pendientes de 0 a 1% o bien de forma cóncava, pueden presentar niveles freáticos próximos a la superficie la mayor parte del año, si no están artificialmente drenados. Los suelos con drenaje imperfecto y mal drenados generalmente presentan colores grises en la matriz y una gran abundancia de rasgos redoximórficos. Las características de drenaje de estos suelos constituyen la mayor limitante para su uso, de tal manera que pueden ser calificados en Clase VIIw de Capacidad de Uso, para aquellos suelos muy pobremente drenados. En el Cuadro 5-22 se presentan las propiedades químicas y físicas de un pedón de la Serie Huiño - Huiño (Fluvaquentic Humaquept), considerada como representativa de este grupo (figuras 5-35 y 5-36, al final del Capítulo).

Cuadro 5-22. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil de la Serie Huiño - Huiño (CIREN, 2003)

| Profundidad (cm) | | 0 - 27 | 27 - 40 | 40 - 59 | 59 - 80 | 80 - 150 |
|--|----|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | A _p | B _{w1} | B _{w2} | B _{w3} | C |
| 2-0,05 | | 34,5 | 24,5 | 28,5 | 28,5 | 38,5 |
| 0,05-0,002 | | 38,2 | 37,6 | 31,6 | 27,6 | 19,6 |
| < 0,002 | | 27,3 | 37,9 | 39,9 | 43,9 | 41,9 |
| Clase textural | | FA | FA | FA | A | A |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 1,10 | 1,03 | 1,13 | 1,02 | 1,09 |
| Agua retenida 33 kPa, suelo seco (%) | | 61,2 | 44,8 | 42,9 | 41,9 | 41,9 |
| Agua retenida 1.500 kPa, suelo seco (%) | | 40,6 | 25,0 | 21,5 | 24,9 | 28,3 |
| pH _{agua} | | 5,04 | 5,12 | 5,39 | 5,53 | 5,84 |
| Carbono orgánico (%) | | 7,09 | 4,13 | 2,15 | 1,51 | 0,64 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 2,64 | 1,84 | 4,67 | 8,63 | 11,04 |
| | Mg | 0,41 | 0,53 | 1,45 | 3,14 | 5,16 |
| | Na | 0,11 | 0,13 | 0,26 | 0,50 | 0,89 |
| | K | 0,81 | 1,00 | 0,82 | 0,58 | 0,45 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | | 3,97 | 3,50 | 7,20 | 12,85 | 17,54 |
| Al por KCl | | 0,67 | 2,71 | 1,09 | 0,22 | 0,08 |
| Acidez a pH 8,2 (cmol _c kg ⁻¹) | | 83,1 | 38,4 | 26,9 | 23,1 | 22,8 |
| kIC (pH 7) (cmol _c kg ⁻¹) | | 46,1 | 24,2 | 22,0 | 24,6 | 28,7 |
| CIC por suma (cmol _c kg ⁻¹) | | 87,1 | 41,9 | 34,1 | 36,0 | 40,4 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | | 4,64 | 6,21 | 8,29 | 13,07 | 17,62 |
| Saturación de Al (%) por CICE | | 14,4 | 43,6 | 13,1 | 1,7 | 0,5 |
| Retención de P (%) | | 98,0 | 62,0 | 48,0 | 51,0 | 58,0 |
| Al ox + ½ Fe ox (%) | | 2,97 | 0,65 | 0,39 | 0,37 | 0,52 |
| Índice Melánico | | 1,74 | 1,64 | 1,62 | 1,59 | 1,64 |
| Densidad óptica (ODOE) | | 0,47 | 0,11 | 0,06 | 0,04 | 0,03 |
| Saturación de bases (%) a pH 7 | | 8,6 | 14,5 | 32,8 | 52,3 | 61,1 |
| Saturación de bases (%) por suma | | 4,6 | 8,3 | 21,1 | 35,7 | 43,4 |

Suelos derivados de cenizas volcánicas antiguas. Son suelos profundos que se han desarrollado a partir de cenizas volcánicas antiguas. Con clase textural superficial franco arcillosa y arcillosa hacia los horizontes más profundos. El color es pardo rojizo oscuro a rojo amarillento en profundidad en los matices 5YR y 2.5YR. Presentan buena estructuración a través del perfil, llegando a prismas gruesos fuertes y una adecuada penetración radical hasta 1 m. Los rasgos de iluviación (cutanes) en el horizonte B_t no son prominentes, pero si lo suficiente para describirlos con claridad. Se presentan en forma de terrazas disectadas y erosionadas con pendientes complejas de 5 a 20% y también en topografía tanto de lomajes como de cerros con más de 20% de pendiente. A causa de la fuerte erosión a la que están sometidos estos suelos, su profundidad puede variar considerablemente.

Besoain (1985) consideró a estos suelos como derivados de cenizas volcánicas antiguas, antes que se tuviera una definición sobre las propiedades ándicas. En la actualidad (Soil Survey Staff, 2006) se puede tener una mayor certeza sobre esta condición, pues los análisis más recientes han evidenciado que presentan una retención de P, a través del perfil, que varía entre 86 y 90% y un

[Al_{ox} + ½Fe_{ox}] sobre 1%, sin embargo, la Db puede llegar a 1,5 Mg m⁻³, la cual es muy elevada para considerarlo un Andisol. Esto significaría, de acuerdo a Besoain (*op.cit.*) que una proporción importante de la fracción mineralógica ha dejado de estar constituida por MORC, evolucionando hacia formas más cristalinas tales como la haloisita y caolinita. Como ejemplo de esta clase de suelos se puede citar a la Serie Cudico que se ha clasificado como un Typic Hapludult (figuras 5-37 y 5-38, al final del Capítulo).

Su aptitud agrícola está limitada por las fuertes pendientes y la erosión que, en muchas Fases, se ha calificado como severa. De esta manera, la mejor aptitud de utilización agrícola se encuentra en las Fases profundas y ligeramente onduladas con 2 a 5% de pendiente y sin erosión. En otro extremo se encuentran las Fases con pendientes de 20 a 30% y erosión severa que se han calificado en Clase VIIe de Capacidad de Uso. En el Cuadro 5-23 se presentan las propiedades químicas y físicas de un pedón de la Serie Cudico.

Cuadro 5-23. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil de la Serie Cudico (CIREN, 2003)

| Profundidad (cm) | 0 - 16 | 16 - 35 | 35 - 69 | 69 - 89 | 89 - 120 | |
|--|----------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | AB | B _{1t} | B _{1z} | B _{1s} | |
| 2-0,05 | 42,8 | 14,8 | 11,4 | 7,4 | 55,4 | |
| 0,05-0,002 | 10,4 | 12,0 | 12,7 | 8,7 | 10,7 | |
| < 0,002 | 46,8 | 73,2 | 75,8 | 83,8 | 33,8 | |
| Clase textural | A | A | A | A | FAa | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 1,18 | 1,17 | 1,24 | 1,34 | 1,55 | |
| Agua retenida 33 kPa, suelo seco (%) | 32,7 | 28,8 | 26,7 | 29,5 | 30,9 | |
| Agua retenida 1.500 kPa, suelo seco (%) | 27,1 | 24,7 | 24,2 | 26,8 | 26,8 | |
| Agua retenida 1.500 KPa, suelo seco (%) | 29,3 | 30,7 | 36,0 | 35,4 | 33,0 | |
| pH _{agua} | 5,20 | 5,21 | 5,08 | 5,10 | 5,10 | |
| Carbono orgánico (%) | 4,30 | 1,92 | 1,51 | 1,22 | 0,93 | |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 1,06 | 0,68 | 0,36 | 0,28 | 0,17 |
| | Mg | 1,13 | 0,54 | 0,26 | 0,44 | 0,59 |
| | Na | 0,29 | 0,21 | 0,15 | 0,19 | 0,19 |
| | K | 0,49 | 0,31 | 0,28 | 0,26 | 0,24 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 2,97 | 1,74 | 1,05 | 1,17 | 1,19 | |
| Al _(KCl) (cmol _c kg ⁻¹) | 1,44 | 1,50 | 2,03 | 1,74 | 1,0 | |
| Acidez (pH 8,2) (cmol _c kg ⁻¹) | 44,7 | 36,8 | 38,7 | 38,0 | 31,6 | |
| CIC (pH 7) (cmol _c kg ⁻¹) | 31,1 | 23,8 | 21,9 | 17,8 | 16,0 | |
| CIC (por suma) (cmol _c kg ⁻¹) | 47,7 | 38,6 | 39,8 | 39,2 | 32,8 | |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 4,41 | 3,24 | 3,08 | 2,91 | 2,19 | |
| Saturación de Al (%) por CICE | 32,7 | 46,3 | 65,9 | 59,8 | 45,7 | |
| Retención de P (%) | 90,0 | 90,0 | 89,0 | 88,0 | 86,0 | |
| Al _{ox} + ½ Fe _{ox} (%) | 1,17 | 1,01 | 1,09 | 0,90 | 0,70 | |
| Índice Melánico | 1,95 | 1,95 | 1,90 | 1,75 | 1,77 | |
| Densidad óptica (ODOE) | 0,21 | 0,15 | 0,17 | 0,15 | 0,10 | |
| Saturación de bases (%) a pH 7 | 9,6 | 7,3 | 4,8 | 6,6 | 7,5 | |
| Saturación de bases (%) por suma | 6,2 | 4,5 | 2,6 | 3,0 | 3,6 | |

5.3.4 Suelos de la Cordillera de la Costa

La Cordillera de la Costa, en esta parte del país, conforma una entidad fisiográfica bien definida, con alturas máximas que pueden alcanzar los 1.100 msnm. Constituye la continuación de la Cordillera de Nahuelbuta, de tal forma que las rocas metamórficas son los materiales geológicos dominantes. En los suelos que se han descrito en esta formación, se ha podido constatar que las rocas se encuentran más meteorizadas y, por lo tanto, con una estructura petrográfica menos reconocible. Además de la topografía de cerros que corresponde a los sectores más elevados, se pueden distinguir formas desde lomajes suaves hasta fuertemente ondulados. En este Capítulo se hace referencia a los suelos que se extienden desde la ciudad de Valdivia hacia el sur, siguiendo aproximadamente el meridiano 73°30' hasta Carelmapu (Figura 5-39, al final del Capítulo).

Inceptisols con propiedades ándicas. En este sector de la Cordillera de la Costa se han descrito suelos derivados de la meteorización de la roca metamórfica paleozoica, con una expresión pedogénica suficiente para desarrollar un horizonte B_w (Luzio *et al.*, 2001). Además, los suelos presentan algunos horizontes con propiedades que se aproximan a las que poseen los suelos derivados de cenizas volcánicas, aun cuando desde un punto de vista mineralógico no es posible asegurar la contaminación con materiales de este origen (*op.cit.*).

En esta amplia zona se pueden considerar dos sectores diferentes desde el punto de vista edáfico y que están asociados a relieves bien definidos. El primero corresponde a los sectores más próximos a la Depresión Intermedia (se les podría identificar como de pre-cordillera) donde se pueden describir zonas de lomajes suaves, de 5 a 8% de pendiente, en alturas que varían desde 60 a los 150 msnm. El sustrato de los suelos consiste en depósitos fluvio-glaciales constituidos por gravas multicolores, redondeadas y subredondeadas, con diferente grado de meteorización, o bien, presentan una toba muy meteorizada que se encuentra a profundidad variable. La profundidad de los suelos está determinada en gran medida por el grado de erosión que han sufrido los suelos que, en este sector, se ha identificado como de ligera a moderada. El segundo sector, se encuentra en la Cordillera propiamente tal, donde la topografía es compleja, de lomajes y cerros, fuertemente ondulada, con pendientes que varían de 8 a 15% y también de 20 a 50%. Los suelos, moderadamente profundos, descansan directamente sobre rocas metamórficas del tipo filitas y micaesquistos, por lo general, profundamente meteorizadas. A causa de las pendientes y la explotación inadecuada de los bosques nativos, la erosión se ha calificado de moderada a severa la cual, en algunos suelos, se presenta con cárcavas profundas y frecuentes. Varios suelos son delgados a muy delgados debido a la decapitación sufrida por efecto de la erosión severa.

Si se considera la antigüedad de los materiales subyacentes a los suelos (Alfaro *et al.*, 1994; Troncoso *et al.*, 1994) y que constituyen los materiales parentales, llama la atención la limitada evolución pedogénica que muestran los suelos. Aun cuando se trata de superficies antiguas estables no hay evidencias morfológicas de rasgos de iluviación de arcillas (corroborado por los contenidos de arcilla de los diferentes horizontes) o de componentes orgánicos. Sólo se han descrito horizontes de alteración *in situ* (B), cuyos rasgos más sobresalientes son un incremento de la fracción fina y un valor y croma (Munsell) más altos en relación al horizonte superficial.

En el sector de pre-cordillera los suelos tienen clases texturales medias (franca, franco arenosa) en los horizontes superficiales y finas (franco arcillosa, franco arcillo limosa, arcillo limosa) en

los horizontes más profundos, en contacto con el sustrato. Los colores se mantienen en el pardo oscuro (7.5YR) en superficie y se tornan más rojos en profundidad, generalmente pardo rojizo oscuro en el matiz 5YR. El contenido de CO varía entre 5,6 y 7,2 % en los horizontes superficiales, con un decrecimiento regular con la profundidad hasta 1%. La CIC varía de 13 a 42 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ en los diferentes suelos, sin que se presente una tendencia definida con la profundidad. La SB se mantiene bajo 50% en todos los horizontes y en algunos de ellos puede llegar a valores tan bajos como 3%. La Db es inferior a 1 Mg m^{-3} y sólo en algunos horizontes puede llegar a 1,1 Mg m^{-3} ; el $[\text{Al}_{\text{ox}} + \frac{1}{2}\text{Fe}_{\text{ox}}]$ en todos los horizontes es $\geq 1\%$ y en algunos de ellos alcanza a 2,2%; a su vez la retención de P varía entre 67 y 93%, valores que se consideran demasiado elevados para suelos cuyo material de origen no es volcánico. Los tres últimos parámetros mencionados son los que han determinado que todos estos Inceptisols hayan sido intergrados hacia Andisols. Llama la atención la elevada diferencia entre la CIC y la CICE, la cual constituye una medida de la carga variable y que alcanza a 70% de la carga total; esto significaría una gran cantidad de componentes no cristalinos, lo cual no es efectivo para estos suelos (Luzio *et al.*, 2001). Por lo tanto la elevada carga variable no provendría de MORC sino que tendría su origen en la presencia de minerales tales como la caolinita, clorita y gibbsita (*op. cit.*).

Los suelos de Cordillera propiamente tal, son de texturas finas en los horizontes superficiales y en profundidad, con un claro incremento hacia los horizontes inferiores, bien estructurados y con buena penetración radical. Dominan los colores rojizo y pardo rojizo, rojo amarillento y pardo amarillento oscuro en los matices 2.5YR y 5YR y más raramente 7.5YR y 10YR. La mayoría de los suelos presentan gravas de cuarzo y micaesquisto meteorizado a través del perfil, en algunos casos, incluso a partir de los 22 cm de profundidad. En estos sectores la erosión manifiesta su máxima expresión, a tal extremo de reducir la profundidad efectiva de los suelos de manera que, algunas Fases, han alcanzado la calificación de suelos delgados y muy delgados.

La Db está bajo 1 Mg m^{-3} en casi todos los horizontes y sólo excepcionalmente, algunos pueden alcanzar 1,2 – 1,3 Mg m^{-3} . El CO puede alcanzar valores elevados (7 y 11%) en algunos suelos, sin embargo, los valores más corrientes se mantienen bajo 5%. La CIC es particularmente alta en los horizontes superficiales y subsuperficiales, desde 40 a 60 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Los suelos se encuentran completamente desaturados, siendo el promedio de SB de 5%, de tal manera que el complejo de intercambio se encuentra saturado con H y Al. Este último es muy elevado en todos los horizontes de los suelos tomados para este análisis, esto es sobre 40%. En particular, en algunos horizontes llega hasta 23 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, lo que determina que la saturación con Al alcanza a 94% para esos horizontes. Si se considera que la toxicidad de Al se manifiesta sobre 0,2 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de Al intercambiable, todos los suelos de este sector se encuentran muy por encima de ese umbral, por lo cual su comportamiento debiera estar relacionado con el de los suelos muy fuertemente ácidos ($\text{pH} < 5,0$). Sin embargo, la mayoría de los horizontes tienen pH superior a 5,0 lo cual podría deberse a varios factores, tales como que el oxalato ácido extrae todas las formas de Al activos, por lo cual habría una menor liberación de protones a la solución suelo; también se podría explicar a causa de la adsorción de Al sobre caolinita y vermiculita, lo cual produciría un incremento del pH de la solución (Luzio *et al.*, 2001).

A causa de las pendientes y de los sectores que ocupan estos suelos, la mayoría de ellos presentan aptitud forestal. Dominan las pendientes complejas de 20 a 30% y de 30 a 50% y sólo algunas fases son de 8 a 15%, con erosión de moderada a severa, por lo cual se les han asignado Clases de Capacidad de Uso VI y VII. Los sectores de la denominada pre-cordillera presentan pendientes

menos escarpadas (5 a 8% y 8 a 15%), por lo que tienen una mejor aptitud y son utilizados con cultivos anuales. La erosión es ligera y las Clases de la mayoría de las Fases son II, III y IV.

Para el análisis de los suelos de este sector se han utilizado las Series de Suelos La Pelada (figuras 5-40 y 5-41, al final del Capítulo), Hueñi, Collihuinco, La Unión, Piedra de Oro, Punotro, Repil, Perquillán y Bahía Mansa (figuras 5-42 y 5-43, al final del Capítulo). En el Cuadro 5-24 se presentan las propiedades químicas y físicas de un pedón de la Serie Hueñi, (Andic Dystrudept) moderadamente profundo y desarrollado a partir de rocas metamórficas, con pendientes entre 30 y 50% y que se ubica en plena Cordillera de la Costa entre alturas que varían entre 500 y 900 msnm. En el Cuadro 5-25 se presentan las propiedades químicas y físicas de un pedón de la Serie Repil (Andic Dystrudept), que se ubica en una posición intermedia adosada a la Cordillera de la Costa, con topografía de lomajes suaves y un sustrato constituido por sedimentos marinos, mezclados con rocas metamórficas meteorizadas.

Cuadro 5-24. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil de la Serie Hueñi (CIREN, 2003)

| Profundidad (cm) | 0 - 14 | 14 - 34 | 34 - 72 | 72 - 120 |
|--|----------------|---------|-----------------|-----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | B | 2C ₁ | 2C ₂ |
| 2-0,05 | 56,9 | 62,9 | 74,9 | 74,9 |
| 0,05-0,002 | 23,6 | 19,6 | 13,6 | 13,6 |
| < 0,002 | 19,4 | 17,4 | 11,4 | 11,4 |
| Clase textural | Fa | Fa | Fa | Fa |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 0,88 | 0,96 | 1,31 | 1,36 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 30,5 | 25,9 | 12,7 | 11,1 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 22,5 | 21,3 | 8,1 | 6,4 |
| pH _{agua} | 5,27 | 5,36 | 5,27 | 5,23 |
| Carbono orgánico (%) | 6,16 | 3,60 | 0,93 | 0,47 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | | | | |
| Ca | 0,24 | 0,11 | 0,12 | 0,13 |
| Mg | 0,23 | 0,10 | 0,05 | 0,05 |
| Na | 0,22 | 0,20 | 0,11 | 0,09 |
| K | 0,17 | 0,08 | 0,04 | 0,05 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 0,86 | 0,49 | 0,32 | 0,32 |
| Al _(KCl) (cmol _c kg ⁻¹) | 1,62 | 1,25 | 1,08 | 0,93 |
| CIC (pH 7) (cmol _c kg ⁻¹) | 39,9 | 40,0 | 12,5 | 9,1 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 2,48 | 1,74 | 1,40 | 1,25 |
| Saturación de Al (%) | 65 | 72 | 77 | 74 |
| Retención de P (%) | 87,0 | 87,0 | 45,0 | 34,0 |
| Al ox + ½ Fe ox (%) | 1,37 | 1,66 | 0,52 | 0,36 |
| Índice Melánico | 2,19 | 2,33 | 2,37 | 2,29 |
| Saturación de bases (%) | 2,2 | 1,2 | 2,6 | 3,5 |

Cuadro 5-25. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil de la Serie Repil (CIREN, 2003)

| Profundidad (cm) | | 0 - 9 | 9 - 27 | 27 - 41 | 41 - 85 | 85 - 130 |
|--|----|----------------|--------|----------------|----------------|----------------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | | A ₁ | AB | B ₁ | B ₂ | B ₃ |
| 2-0,05 | | 28,6 | 24,6 | 25,3 | 14,9 | 18,9 |
| 0,05-0,002 | | 27,3 | 27,3 | 25,6 | 34,0 | 25,6 |
| < 0,002 | | 44,2 | 48,2 | 49,1 | 51,1 | 55,4 |
| Clase textural | | A | A | A | A | A |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 0,89 | 1,09 | 0,88 | 1,01 | 0,96 |
| Agua retenida 33 kPa (%) | | 38,9 | 39,3 | 37,2 | 38,0 | 39,0 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | | 25,2 | 26,9 | 27,3 | 25,8 | 26,4 |
| pH _{agua} | | 5,09 | 5,29 | 5,12 | 4,74 | 5,00 |
| Carbono orgánico (%) | | 5,58 | 5,00 | 3,26 | 1,51 | 1,05 |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 2,67 | 2,11 | 1,62 | 2,06 | 0,65 |
| | Mg | 1,71 | 1,10 | 0,79 | 0,51 | 0,46 |
| | Na | 0,23 | 0,27 | 0,25 | 0,29 | 0,12 |
| | K | 0,43 | 0,21 | 0,27 | 0,25 | 0,17 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | | 5,04 | 3,69 | 2,93 | 3,11 | 1,40 |
| Al _(KCl) (cmol _c kg ⁻¹) | | 8,75 | 9,39 | 12,55 | 18,39 | 22,48 |
| Acidez (pH 8,2) (cmol _c kg ⁻¹) | | 49,6 | 46,6 | 50,0 | 40,4 | 41,0 |
| CIC (pH 7) (cmol _c kg ⁻¹) | | 36,3 | 34,3 | 37,8 | 31,1 | 28,8 |
| CIC (por suma) (cmol _c kg ⁻¹) | | 54,6 | 50,3 | 52,9 | 43,5 | 42,4 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | | 13,79 | 13,08 | 15,48 | 21,50 | 23,88 |
| Saturación de Al (%) por CICE | | 63,5 | 71,8 | 81,1 | 85,5 | 94,1 |
| Retención de P (%) | | 82,0 | 87,0 | 90,0 | 93,0 | 91,0 |
| Al ox + ½ Fe ox (%) | | 1,58 | 1,63 | 1,74 | 2,15 | 1,44 |
| Índice Melánico | | 1,92 | 1,85 | 1,78 | 1,97 | 1,71 |
| Saturación de bases (%) a pH 7 | | 13,9 | 10,8 | 7,7 | 10,0 | 4,9 |
| Saturación de bases (%) por suma | | 9,2 | 7,3 | 5,5 | 7,1 | 3,3 |

Ultisols con influencia volcánica. Se trata de suelos profundos que pueden haber derivado de dos materiales parentales diferentes. En primer lugar, a un grupo de ellos se les ha considerado como derivados de cenizas volcánicas antiguas, depositadas sobre el complejo metamórfico, con una evolución suficiente para que el complejo mineralógico evidencie características de componentes cristalinos, conjuntamente con las características provenientes de los MORC. En segundo lugar, a otros se les ha identificado como derivados directamente de la meteorización profunda de rocas metamórficas de la Cordillera de la Costa.

Estos suelos se ubican tanto en la Cordillera de la Costa, con topografía de cerros (>30% pendiente), como en áreas de pre-cordillera con topografía de lomajes fuertes y pendientes menores (8 a 15% y 15 a 20%). Por lo tanto, se encuentran en alturas que varían desde los 100 hasta los 700 msnm. Se trata de suelos moderadamente profundos a muy profundos, como ocurre en el caso de la Serie Los Ulmos que puede alcanzar más de 230 cm de profundidad. Las clases texturales son medias en los horizontes superficiales y más finas en los horizontes más profundos, es decir, desde franco limosa hasta franco arcillo limosa y arcillo limosa. Además del incremento

de la fracción fina hacia los horizontes subsuperficiales, en todos los suelos se presentan evidencias claras de iluviación, a través de la presencia de cutanes delgados discontinuos entre los 22 y 66 cm de profundidad, principalmente en las paredes de poros y más ocasionalmente en las caras de los agregados. Los colores dominantes en todos los suelos se encuentran en el matiz 5YR, entre el pardo rojizo oscuro y el rojo amarillento. Todos los suelos tienen un buen arraigamiento, de tal manera que se pueden describir raíces finas comunes hasta los 100 cm.

Algunas propiedades de estos suelos señalan que el contenido de CO es elevado en los horizontes superficiales, aun cuando no alcanzan los niveles de los Andisols; puede variar entre 4 y 12 % y siempre con un decrecimiento regular con la profundidad hasta valores de 0,4%. La CIC es alta para la mayoría de los horizontes de los suelos (en algunos de ellos puede llegar a 79 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) fluctuando entre 16 y 49 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. La SB responde a las condiciones de desaturación de todos los suelos de la Región, es decir se mantiene bajo 10%, con valores extremos de 20 y 1% en determinados horizontes. Al igual que los *Inceptisols con propiedades ándicas*, estos suelos presentan algunas características intrínsecas que los hacen intergrados obligados hacia los suelos volcánicos. De esta manera, la Db varía de 0,7 hasta 1,4 Mg m^{-3} , la retención de P varía entre 70 y 97% y el $[\text{Al}_{\text{ox}} + \frac{1}{2}\text{Fe}_{\text{ox}}]$ se mantiene sobre 1 % en casi todos los suelos y en algunos horizontes es superior a 2%. Por lo tanto, a la luz de estas cifras no es posible desconocer que existe alguna influencia de materiales volcánicos, situación que ha sido señalada como común para los suelos de esta zona. De los suelos utilizados para este análisis (Correltúe, Hueicoya, Huilma y Los Ulmos), Correltúe es el que presenta estas propiedades de manera más prominente. La Db varía entre 0,7 y 0,8 Mg m^{-3} en todo el perfil, la retención de P va de 89 a 97% y $[\text{Al}_{\text{ox}} + \frac{1}{2}\text{Fe}_{\text{ox}}]$ va desde 2,3 a 1,2% en los horizontes más profundos. También la saturación del complejo de intercambio con Al es muy elevada, alcanzando 83% en el suelo Hueicoya.

La mayoría de estos suelos tiene aptitud para praderas y forestal, esencialmente por la topografía que los caracteriza y por la erosión de moderada a severa que sufren varias Fases de ellos. Todas las áreas que presentan pendientes de 30 a 50% tienen aptitud forestal y se les ha asignado una Clase de Capacidad de Uso VI, VII y, en los casos más extremos, VIII. A las Fases moderada y fuertemente onduladas con pendientes de 5 a 8% y de 20 a 30%, se les han asignado Clases entre IV y VI, dependiendo del grado de erosión que sufren. De los suelos analizados, la Serie Huilma (Figura 5-44, al final del Capítulo) es la que presenta la mejor aptitud agrícola, pues se trata de suelos profundos, bien estructurados y con buen arraigamiento a través del perfil, con Fases ligeramente onduladas y pendientes entre 2 y 5% a las cuales se les ha asignado Clase II de Capacidad de Uso. En el Cuadro 5-26 se presentan las propiedades químicas y físicas de un pedón de la Serie Correltúe (Andic Haplohumult) suelo desarrollado a partir de cenizas volcánicas antiguas depositadas sobre el complejo metamórfico.

Cuadro 5-26. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil de la Serie Correltúe (CIREN, 2003)

| Profundidad (cm) | 0 - 7 | 7 - 28 | 28 - 64 | 64 - 98 | 98 - 130 | |
|--|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | A ₂ | B ₁₁ | B ₁₂ | B ₁₃ | |
| 2-0,05 | 18,7 | 19,5 | 10,8 | 9,9 | 12,2 | |
| 0,05-0,002 | 37,2 | 42,8 | 40,7 | 44,0 | 40,9 | |
| < 0,002 | 44,1 | 37,6 | 48,5 | 46,1 | 47,0 | |
| Clase textural | A | FA | AL | AL | AL | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 0,67 | 0,84 | 0,69 | 0,71 | 0,79 | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 56,9 | 62,0 | 47,9 | 41,2 | 37,0 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 38,9 | 39,8 | 34,4 | 28,7 | 27,2 | |
| pH _{agua} | 5,6 | 4,9 | 5,2 | 5,4 | 5,2 | |
| Carbono orgánico (%) | 11,99 | 8,30 | 1,86 | 1,32 | 1,12 | |
| Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 1,60 | 0,14 | 0,13 | 0,21 | 0,33 |
| | Mg | 0,53 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,05 |
| | Na | 0,16 | 0,10 | 0,05 | 0,07 | 0,08 |
| | K | 0,15 | 0,07 | 0,03 | 0,03 | 0,02 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 2,44 | 0,36 | 0,24 | 0,34 | 0,48 | |
| Al _(KCl) (cmol _c kg ⁻¹) | 0,70 | 0,48 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | |
| CIC (pH 7) (cmol _c kg ⁻¹) | 36,6 | 32,2 | 13,3 | 18,2 | 17,2 | |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 3,14 | 0,84 | 0,25 | 0,35 | 0,48 | |
| Saturación de Al (%) | 22,0 | 57,0 | 4,0 | 3,0 | 0,0 | |
| Retención de P (%) | 96 | 97 | 92 | 94 | 89 | |
| Al ox + ½ Fe ox (%) | 1,96 | 2,31 | 1,40 | 1,46 | 1,17 | |
| Índice Melánico | 1,93 | 1,89 | 1,89 | 1,89 | 2,17 | |
| Saturación de bases (%) | 7,0 | 1,0 | 2,0 | 2,0 | 3,0 | |

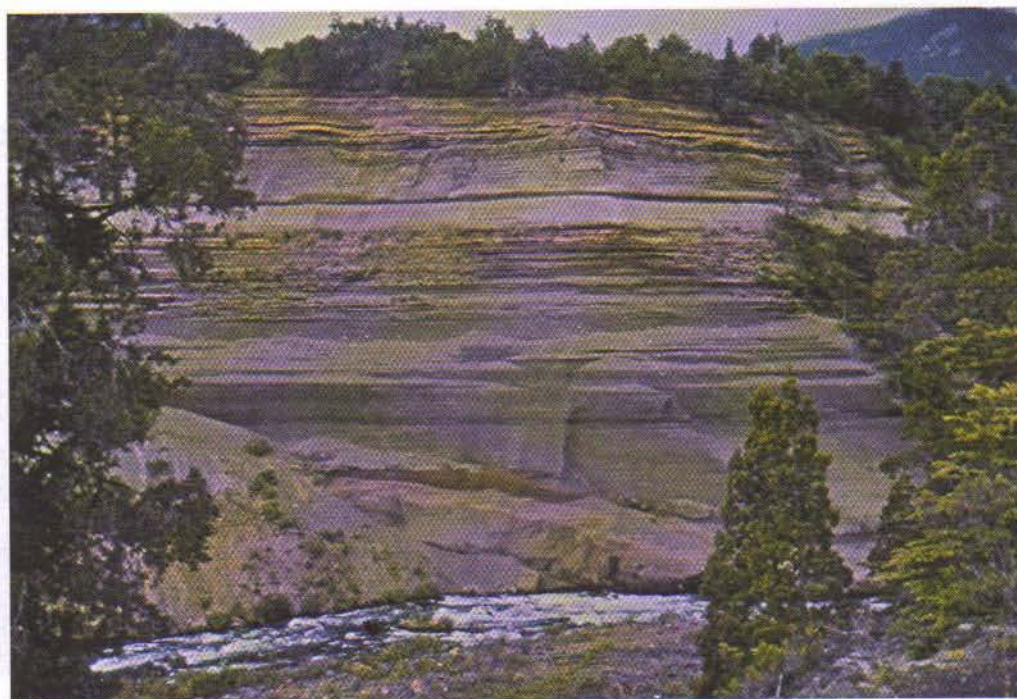


Figura 5-1. Durante el Cuaternario la actividad volcánica en Los Andes de Chile fue de gran intensidad con considerables volúmenes de materiales emitidos. En la Figura se destaca la sucesión de capas de sedimentos volcánicos (tefras).



Figura 5-2. Entre los 600 y los 1.400 msnm, existe una dominancia de suelos derivados de tefras de granulometría gruesa y media, es decir pumicea, cinerítica y fragmental. Se trata de suelos profundos y moderadamente profundos, con clase textural gruesa. La mayor parte de los suelos tiene como sustrato a gravas escoriáceas de origen volcánico cuyo tamaño puede variar entre 2 y 6 cm de diámetro.

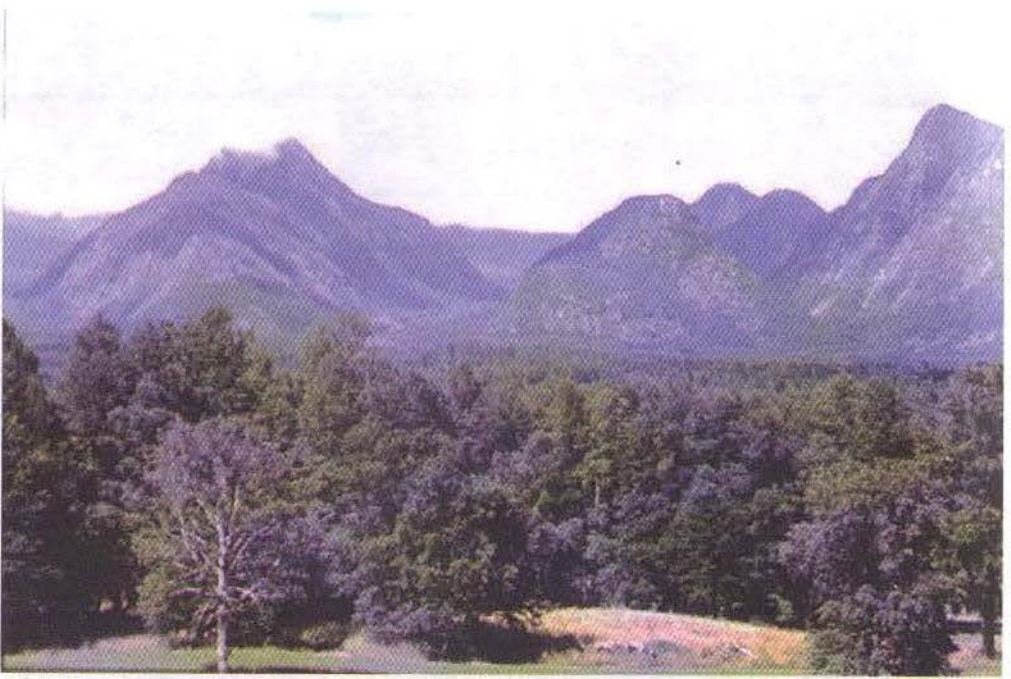


Figura 5-3. Sector pre-cordillerano con escasa información edáfica. Se puede observar un valle glacial en medio de una topografía muy abrupta.



Figura 5-4. Perfil de la Serie Los Prados. Los suelos que se encuentran en la pre-cordillera, más próximos a la Depresión Intermedia, tienen las mejores aptitudes agrícolas, principalmente debido a que se presentan en una posición topográfica más adecuada, como terrazas aluviales, terrazas remanentes o bien sobre depósitos fluvio-glaciales.



Figura 5-5. Paisaje de la Serie Los Prados. Se trata de suelos generalmente profundos que dominan en la pre-cordillera de Los Andes pero en posiciones más próximas a la Depresión Intermedia, donde alcanzan su máxima expresión los suelos derivados de cenizas volcánicas.



Figura 5-4. Perfil de la Serie Los Prados. Los suelos que se encuentran en la pre-cordillera, más próximos a la Depresión Intermedia, tienen las mejores aptitudes agrícolas, principalmente debido a que se presentan en una posición topográfica más adecuada, como terrazas aluviales, terrazas remanentes o bien sobre depósitos fluvioglaciales.



Figura 5-5. Paisaje de la Serie Los Prados. Se trata de suelos generalmente profundos que dominan en la pre-cordillera de Los Andes pero en posiciones más próximas a la Depresión Intermedia, donde alcanzan su máxima expresión los suelos derivados de cenizas volcánicas.



Figura 5-6. Perfil de la Serie Metrenco. Son suelos profundos y moderadamente profundos que descansan sobre conglomerados fluvioglaciales, parcialmente meteorizados de composición andesítico-basáltica o sobre brechas volcánicas con diferente grado de meteorización.



Figura 5-7. Paisaje de la Serie Metrenco. Los suelos ocupan una posición de lomajes con topografía de suave a moderadamente ondulada con pendientes dominantes de 8 a 15% y hasta 20 a 30%. En algunas Fases de relieve cóncavo y en las depresiones, se puede presentar drenaje imperfecto.



Figura 5-8. Paisaje de un sector de la Depresión Intermedia en las proximidades de Pitrufuquén. El cultivo, en primer plano, es cebada (*Hordeum vulgare*).

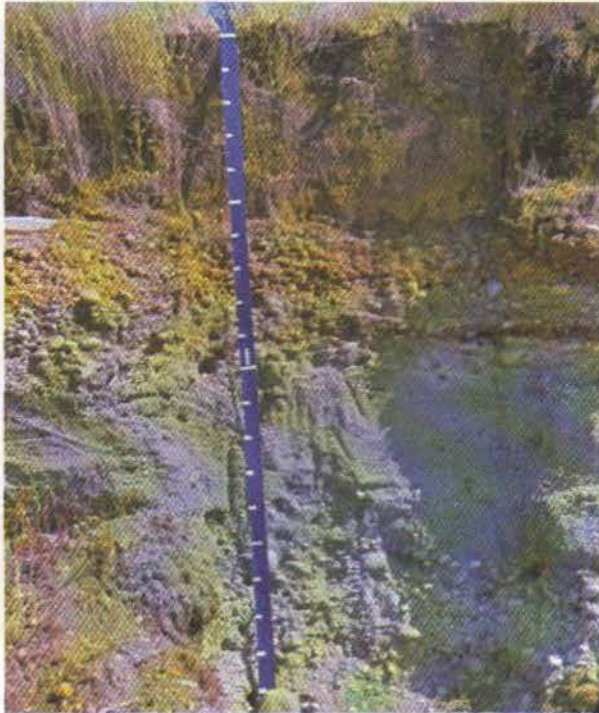


Figura 5-9. Suelos derivados de cenizas volcánicas moderada a ligeramente profundos cuyo sustrato está constituido por gravas cementadas con materiales semejantes a un *fierrillo*, depósitos fluvioglaciales compactados, escorias volcánicas o brechas volcánicas parcialmente meteorizadas. El sustrato limita seriamente la profundidad del suelo y consecuentemente sus aptitudes de uso.



Figura 5-10. En segundo plano se observa el relieve característico de la Cordillera de la Costa en la zona de Arauco. El relieve es pronunciado, con pendientes que varían de 5 a 8% y de 8 a 15% en los sectores de lomajes y de 30 a 50% y más de 50% en las áreas de cerros propiamente tales. El material parental corresponde a roca metamórfica, con diferentes grados de meteorización, pero con su estructura esquistosa reconocible que aún se manifiesta en los horizontes inferiores de los suelos.

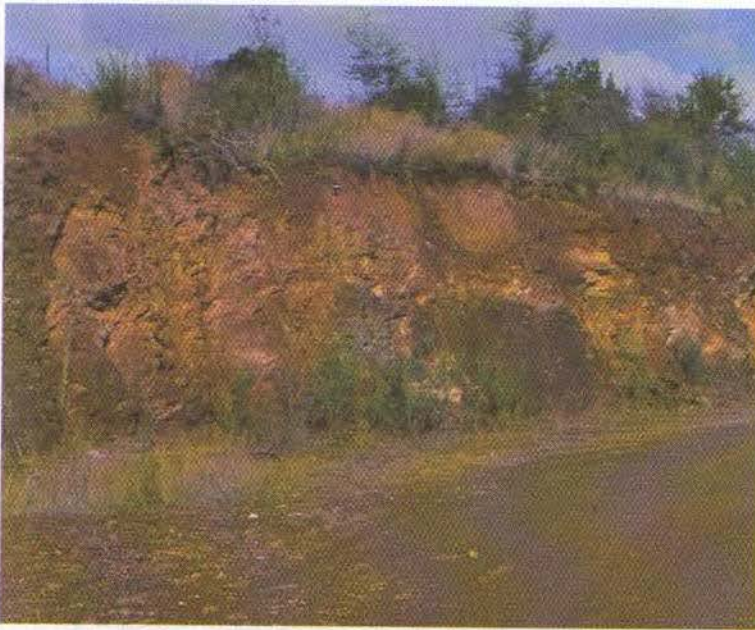


Figura 5-11. Corte que muestra la roca metamórfica característica de la Cordillera de Nahuelbuta y el suelo que se desarrolla sobre ella. En este caso, el suelo ha sido decapitado y en su mayor parte se trata de perfiles incompletos.



Figura 5-12. Perfil de la Serie Quiripio. Los suelos derivados de cenizas volcánicas en la Cordillera de la Costa se encuentran en posición de lomajes, de cerros con pendientes complejas y una topografía ondulada y disectada. Son suelos profundos (120 cm) que, en algunos casos, se encuentran directamente sobre el micaesquisto parcialmente meteorizado.



Figura 5-13. En los sectores más elevados de la Cordillera de Los Andes (desde 900 a 1.200 msnm), con una topografía de lomajes fuertes y cerros, se encuentran suelos con granulometría gruesa, de tal forma que todos ellos pertenecen a las Familias cinerítica y pumícea. Los suelos son estratificados, alternando capas de pómez y arenas de finas a gruesas.



Figura 5-14. A causa de las fuertes pendientes de estas áreas de la Cordillera de Los Andes, los suelos sólo poseen aptitud forestal. Todavía se pueden observar áreas con una densa cubierta de bosque nativo, como el que se muestra en la figura.

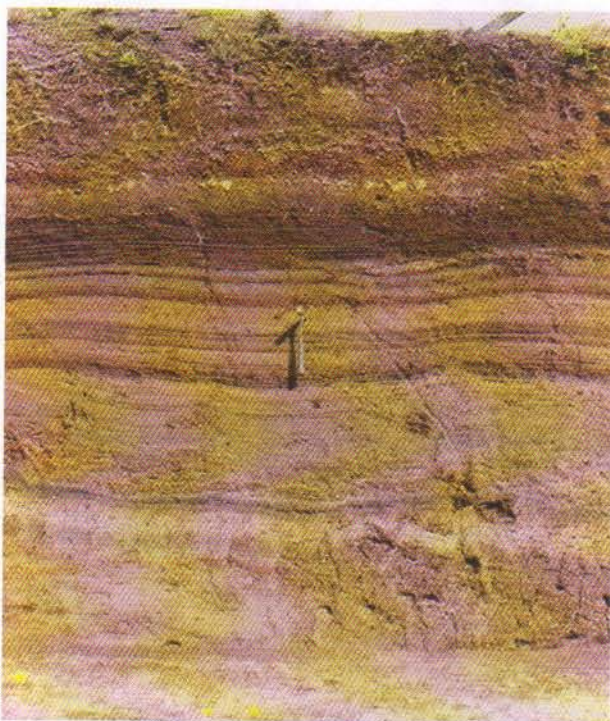


Figura 5-15. Sucesión de tefras, sobre las cuales se ha desarrollado un suelo delgado con propiedades ándicas. En estos suelos, la retención de agua a 1.500 kPa, en muestras húmedas, es superior a 100%, de tal manera que frente a determinada alteración, tal como un movimiento sísmico, el suelo se comporta como un líquido (tixotropía), generando deslizamientos que se ven facilitados por las fuertes pendientes y el contacto discordante con la roca subyacente.

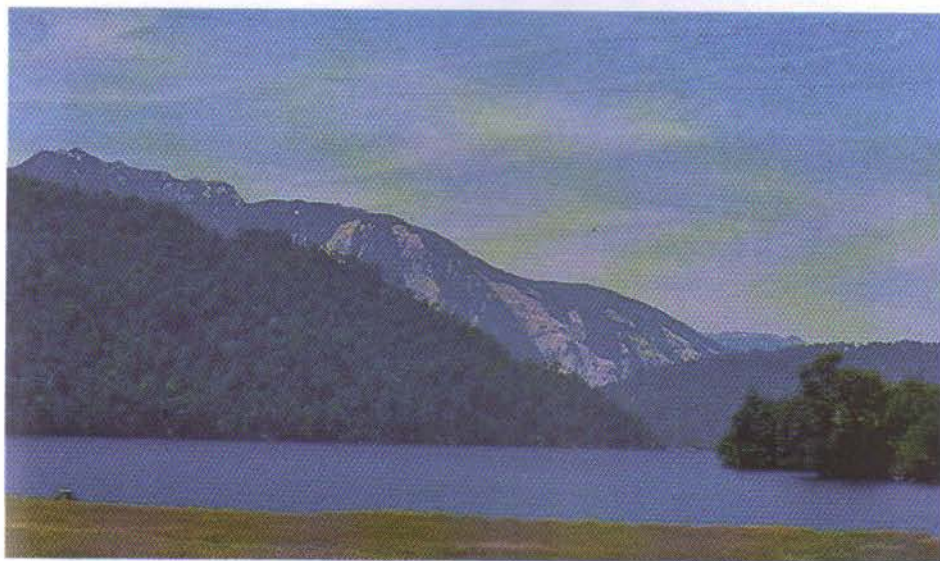


Figura 5-16. Cuando se producen deslizamientos, a causa de la tixotropía, la cubierta vegetal no es capaz de sostener el suelo y, esta es la razón para considerarlos como extremadamente susceptibles a procesos erosivos. Todos ellos se consideran con Clase VII de Capacidad de Uso y en casos especiales en Clase VIII.



Figura 5-17. Perfil de la Serie Puerto Fonck. Entre pre-cordillera de Los Andes y la Depresión Intermedia se han descrito suelos de colores grises y pardo muy oscuro a negro. Se trata de suelos profundos que pueden llegar hasta los 2 m antes de alcanzar el sustrato. Están formados a partir de la meteorización de tefras finas que se ubican en planos de origen lacustre o aluvial. El horizonte superficial tiene un contenido de CO superior a 6%.



Figura 5-18. Paisaje de la Serie Puerto Fonck, en las proximidades del Lago Puyehue. Se encuentra ocupando posiciones de terrazas remanentes y lomajes suaves.

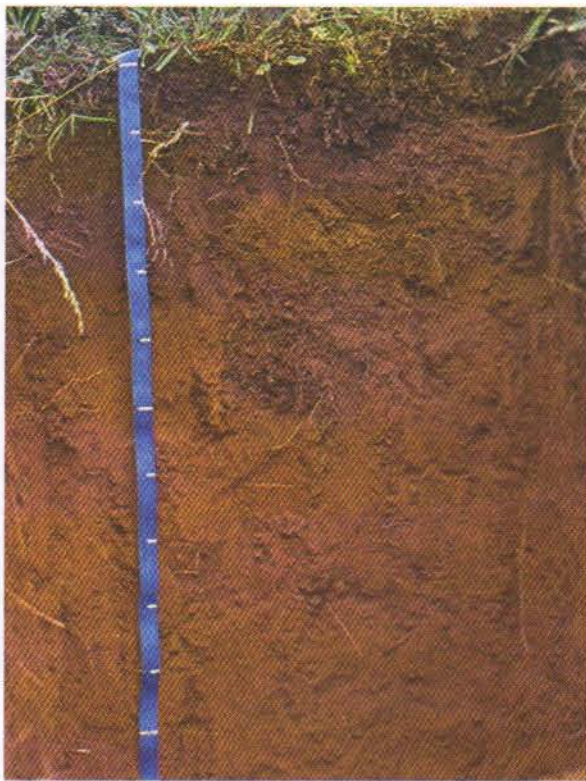


Figura 5-19. Perfil de la Serie Osorno. Corresponde al concepto central de un suelo derivado de cenizas volcánicas holocénicas, es decir un *trumao*. La secuencia normal de horizontes diagnósticos es de un epipedón úmbrico sobre un horizonte cámbico, el cual puede presentar rasgos de iluviación en forma de cutanes principalmente en canales de raíces.



Figura 5-20. Los suelos de la Serie Osorno ocupan una posición de terrazas remanentes de origen aluvial o fluvio-glacial, con topografía plana a ligeramente ondulada y excepcionalmente de lomajes suaves.



Figura 5-21. Perfil de la Serie Pelchuquín. Son suelos bien drenados, de buena permeabilidad y muy buen arraigamiento hasta los horizontes más profundos. Además de las propiedades ándicas, estos suelos presentan un alto contenido de CO en los horizontes superficiales que puede llegar a 12,5%, con un decrecimiento gradual en profundidad.



Figura 5-22. Paisaje de la Serie Pelchuquín. Al igual que los demás Andisols de la Zona, estos suelos ocupan posiciones de terrazas de origen aluvial o fluvio-glacial con topografía dominante plana a ligeramente ondulada.

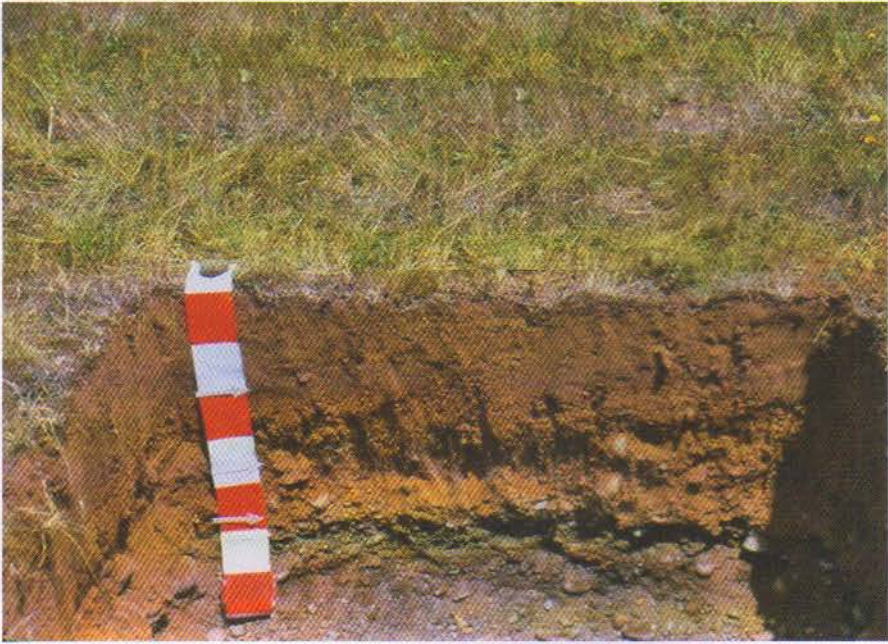


Figura 5-23. Perfil de la Serie Lanco. Estos suelos, moderadamente profundos y delgados, se han desarrollado por la sedimentación de cenizas volcánicas sobre terrazas aluviales o planos de deposición fluvio-glaciales,



Figura 5-24. Paisaje de los suelos de la Serie Lanco. Las alturas varían entre los 40 y los 150 msnm y sólo en casos excepcionales pueden llegar a los 200 msnm. La topografía es plana a casi plana (1 a 3%), con permeabilidad moderada y drenaje moderado.



Figura 5-25. Los *Ñadis* tienen en común, además de las propiedades ándicas, un drenaje imperfecto que puede llegar, en algunas Fases, a muy mal drenados. El origen del mal drenaje se encuentra tanto en la topografía como en la morfología de los suelos. Generalmente ocupan las posiciones planas o deprimidas del paisaje.



Figura 5-26. Horizonte plácico con límites abruptos entre el suelo y el sustrato. Frecuente en suelos de la Isla de Chiloé.



Figura 5-27. Depositaciones de óxidos de Fe diseminados en forma difusa entre el suelo y el sustrato fluvioglacial inferior. El horizonte plácico puede presentarse en estas formas en los sectores próximos a Maullín.

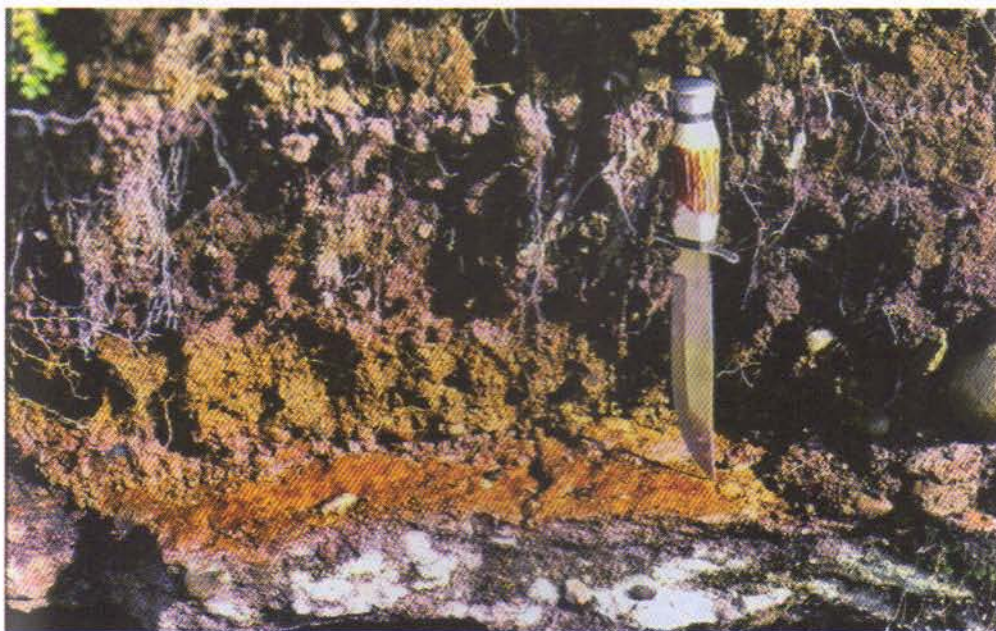


Figura 5-28. Horizonte plácico con alto contenido en óxidos de Fe y bajos contenidos de CO. Constituye un impedimento al paso de raíces y agua.



Figura 5-29. Horizonte plácico muy delgado (en el centro de la fotografía) acompañado de óxidos de Fe depositados en forma difusa, tanto hacia arriba como abajo del mencionado horizonte. Esta forma de horizonte plácico es frecuente en algunos sectores de la Isla de Chiloé.

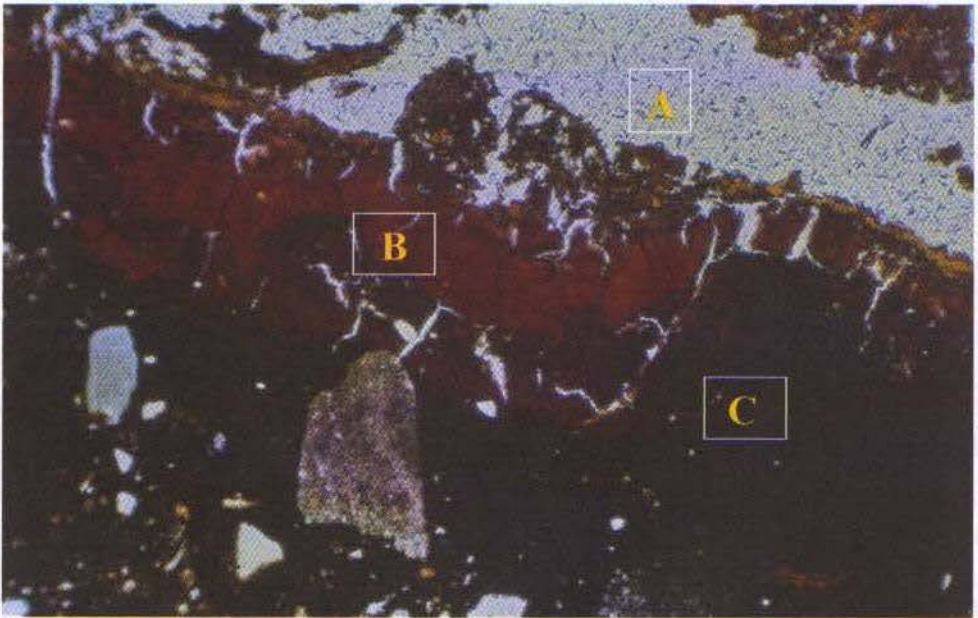


Figura 5-30. Sección delgada de un corte de un horizonte plácico. A: corresponde a un vacío; B: recubrimientos de óxidos de Fe de color rojo oscuro; más próximos al vacío constituyen una capa delgada de color amarillo y C: en color negro los materiales isotrópicos de origen amorfo conjuntamente con fragmentos de minerales tales como cuarzo y feldespatos.



Figura 5-31. Perfil de la Serie Calonje en la Isla Grande de Chiloé. El epipedón tiene un elevado contenido en CO , pero no alcanza a calificar como hístico. El suelo es delgado y muy delgado con un sustrato de naturaleza fluvio-glacial de gravas y arenas que, en la mayor parte de los casos, forma un duripán o un horizonte plúvico (fierrillo) o ambos, el cual no sólo impide el paso del agua sino también de las raíces.



Figura 5-32. Paisaje de los sectores centrales de la Isla de Chiloé, asociados a ñadis en las partes depresivas y a trumaos en las partes más elevadas del relieve.



Figura 5-33. Perfil de la Serie Frutillar. El horizonte superficial suele ser un horizonte O, constituido por un colchón de *Sphagnum*, raíces y hojas, y dependiendo de su espesor, puede constituir un epipedón hístico. Su color más frecuente es negro, pero variando entre los matices 5YR y 10YR. En profundidad siempre existe un buen desarrollo del perfil que implica la presencia de un horizonte cámbico.



Figura 5-34. Paisaje de la Serie Frutillar en las proximidades del pueblo del mismo nombre.



Figura 5-35. Perfil de la Serie Huiño-Huiño. Este suelo se ha incluido en un grupo de suelos derivados de cenizas volcánicas depositadas sobre planos aluviales, o más preferentemente fluvioglaciales. Sin embargo, no alcanzan a cumplir, en su totalidad, con las propiedades ándicas.



Figura 5-36. Los suelos pertenecientes a la Serie Huiño-Huiño ocupan sectores deprimidos en el paisaje, con pendientes de 0 a 1% o bien de forma cóncava. Pueden presentar niveles freáticos próximos a la superficie la mayor parte del año, si no están artificialmente drenados.



Figura 5-37. Perfil de la Serie Cudico. Son suelos profundos que se han desarrollado a partir de cenizas volcánicas antiguas. Con textura superficial franco arcillosa y arcillosa hacia los horizontes más profundos. Los rasgos de iluviación (cutanes) en el horizonte B, no son prominentes, pero sí lo suficiente para describirlos con claridad.

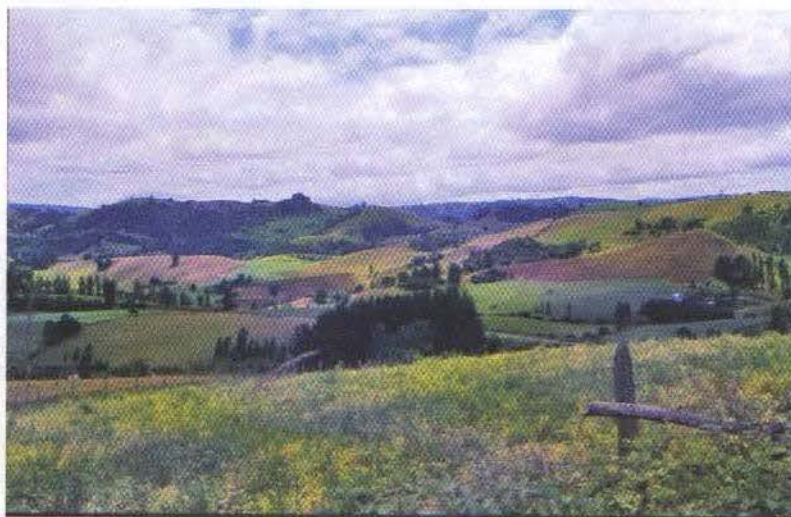


Figura 5-38. Los suelos pertenecientes a la Serie Cudico se presentan en forma de terrazas disectadas y erosionadas, con pendientes complejas de 5 a 20% y también en topografía de lomajes y cerros con más de 20% de pendiente. A causa de la fuerte erosión a la que están sometidos estos suelos, su profundidad puede variar considerablemente.



Figura 5-39. Cordillera de la Costa en las proximidades de Carelpamu.



Figura 5-40. Perfil de la Serie La Pelada. Los suelos descansan directamente sobre rocas metamórficas del tipo filitas y micaesquistos, en general, profundamente meteorizadas. La mayoría de los suelos son delgados a muy delgados debido a la decapitación sufrida por efecto de la erosión severa.



Figura 5-41. Paisaje de la Serie La Pelada. A causa de las pendientes y la explotación inadecuada de los bosques nativos, la erosión se ha calificado de moderada a severa la cual, en algunos suelos, se presenta con cárcavas profundas y frecuentes. Dominan las pendientes complejas de 20 a 30% y de 30 a 50% y sólo algunas fases son de 8 a 15%, con erosión de moderada a severa, por lo cual se les han asignado Clases de Capacidad de Uso VI y VII.



Figura 5-42. Perfil de la Serie Bahía Mansa. Se trata de suelos de texturas finas en los horizontes superficiales y en profundidad, con un incremento de la fracción arcilla hacia los horizontes inferiores. Dominan los colores rojizo y pardo rojizo, rojo amarillento y pardo amarillento oscuro en los matices 2.5YR y 5YR. La mayoría de los suelos presentan gravas de cuarzo y micaesquisto meteorizado a través del perfil.



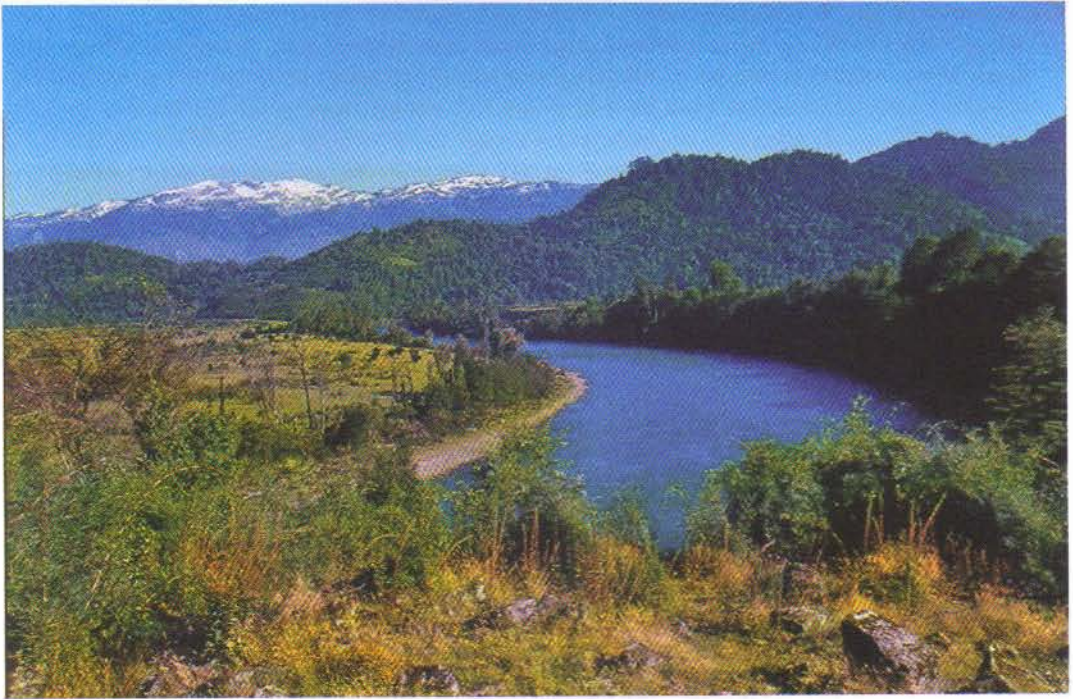
Figura 5-43. Paisaje de la Serie Bahía Mansa. A causa de las pendientes y de los sectores que ocupan estos suelos, la mayoría de ellos presentan aptitud forestal.



Figura 5-44. Perfil de la Serie Huilma. Estos suelos se ubican tanto en la Cordillera de la Costa, con topografía de cerros (más de 30% pendiente), como en áreas de pre-cordillera de la Costa, con topografía de lomajes de suaves a fuertes (hasta 20%). Se encuentran en alturas que varían entre los 100 msnm hasta los 700 msnm. De acuerdo a sus propiedades químicas y físicas se puede inferir que existe influencia de materiales volcánicos en su formación, situación que ha sido señalada como común para los suelos de esta zona.

CAPÍTULO 6

Suelos de la Zona Húmeda (Desde 43° LS hasta 50° LS)



Luzio, W., Seguel, O. Casanova, M. 2009. Suelos de la Zona Húmeda (Desde 43° LS hasta 50° LS). pp: 263-289. *In:* Suelos de Chile. (Luzio, W., Editor). Universidad de Chile.

6.1 Reseña Geomorfológica de la Región

La geomorfología de la XI Región de Aysén está claramente dominada por dos clases de procesos, los volcánicos y los glaciales, que se superponen y se asocian indistintamente, haciendo muy compleja la interpretación de la distribución de los suelos.

Las formas del paisaje de origen glacial y sus depósitos más frecuentes son las morrenas (laterales, de fondo y frontales) y los valles en U, con sus respectivas hombreras (figuras 6-1 y 6-2, al final del Capítulo). Los depósitos fluvioglaciales tienen mayor representatividad en el sector norte de la Región de Aysén, lo cual se atribuye a que la topografía general de la zona es menos abrupta en sectores muy amplios, probablemente debido a que la acción de los glaciares ha sido más intensa, dejando amplias áreas de sedimentos de diferente naturaleza. En el sector sur de la Región de Aysén no se distinguen con claridad los depósitos fluvioglaciales, lo cual se atribuye a que la topografía general de la zona es demasiado abrupta, con pendientes que muchas veces son de 90° y los valles de los ríos se encuentran en cajones estrechos con procesos de erosión aluvial activos (figuras 6-3 y 6-4, al final del Capítulo). En la Provincia de Palena, los valles de origen glacial fueron rellenados con diferentes clases de materiales tales como morrénicos, aluvionales y fluviales. Sobre ellos se depositaron materiales volcánicos provenientes de los volcanes Michimahuida, Apagado, Hornopirén y Chaitén, que constituirían los materiales de partida para la mayoría de los suelos del área (Ahumada *et al.*, 2004). Los suelos más evolucionados se caracterizan por tener un *solum* de texturas finas y muy finas y los suelos más jóvenes tienen clases texturales medias y gruesas (*op. cit.*).

Las terrazas kame, de origen fluvioglacial, se encuentran muy bien representadas en las márgenes del Lago General Carrera. Éstas se forman en las zonas marginales de los glaciares en forma de colinas redondas, estratificadas con guijarros y arena, formando escalones aterrazados. Estas unidades topográficas, surgidas de aguas de fusión, se desarrollan en los márgenes de los valles glaciales.

Las formas debidas a la gravedad corresponden a depósitos coluviales, asociados a fenómenos de deslizamientos a causa de las fuertes pendientes (sobre 60%). Estas formaciones, cuando son de pequeñas dimensiones, en gran medida a causa de la estrechez de los valles y a la activa acción fluvial que arrastra todo vestigio de estas formaciones, carecen de toda utilización agrícola, ganadera o forestal. Aquellos coluvios de extensiones considerables, en muchos casos están utilizados con actividad ganadera o forestal. Se considera que en la Provincia de Palena, los suelos ubicados en posición de cerros escarpados habrían recibido los mayores aportes de cenizas, en comparación con los sectores propios de los valles, cuyos materiales de relleno serían principalmente de origen aluvial. Estos últimos habrían generado suelos de escaso desarrollo a partir de una mezcla de materiales aluviales y volcánicos (Ahumada *et al.*, 2004).

Las formas debidas a procesos aluviales corresponden principalmente a terrazas, de magnitud muy variable, generalmente con 1 a 3% y 2 a 5% de pendiente. Algunas son algo alomadas, en posición baja y otras en posición algo más elevada con sustrato de gravas redondeadas y facetadas y siempre asociadas a los numerosos ríos de la zona. Muchos de los suelos que constituyen estas terrazas aluviales están formados a partir de

cenizas volcánicas de características muy semejantes a los suelos de las posiciones más altas, lo que hace presumir que las depositaciones de cenizas volcánicas son relativamente recientes (Holoceno). En las proximidades de la ciudad de Coyhaique, las terrazas aluviales pueden alcanzar dimensiones de importancia, tanto por su extensión como por la calidad de los suelos que las conforman, constituyendo áreas de potencialidad agrícola o ganadera (Figura 6-5, al final del Capítulo).

Los depósitos volcánicos corresponden a materiales finos (cenizas) del tamaño arena, pero también es posible encontrar de granulometría media y gruesa (lapillis de pómez). Los fragmentos de pómez, la mayoría de ellos meteorizados en grado medio, se encuentran ampliamente distribuidos en los suelos, ya sean como estratas en discontinuidad litológica, o bien mezclados con la matriz del suelo. Los materiales volcánicos se han depositado cubriendo diferentes tipos de formaciones, tales como terrazas aluviales, morrenas, coluvios y afloramientos rocosos, de tal manera que los suelos desarrollados a partir de estos materiales derivan de emisiones coetáneas a partir de los mismos centros volcánicos. Por lo tanto, las tefras han dado origen a suelos similares, aún cuando el sustrato sobre el cual se han desarrollado puede ser de diferente naturaleza. De esta manera se mantiene el mismo taxón, especificando en el rango de variaciones que el suelo se puede encontrar sobre diferentes sustratos. Debido a que los eventos volcánicos (depositación de las tefras) han sido esporádicos, los suelos manifiestan una marcada estratificación, de tal manera que sólo algunas capas de materiales volcánicos de los suelos han evolucionado hacia propiedades ándicas. Por lo tanto, varios suelos no alcanzan a cumplir con los requerimientos para ser considerados como Andisols. Esta característica hace una diferencia con los suelos de la X Región de Los Lagos, donde las tefras han sido de mayor potencia y con materiales de mayor homogeneidad, tanto en su granulometría como en su composición.

El 8 de Agosto de 1991, el Volcán Hudson tuvo una erupción de gran magnitud que afectó, con la depositación de cenizas y lapillis, (aparentemente de carácter ácido, del tipo pómez), alrededor de 600.000 hectáreas que estaban cubiertas con bosques y pastizales. En algunos sectores el depósito de cenizas alcanzó 2 m de altura. En la actualidad, gran parte de estos depósitos de cenizas y lapillis han sido lavados y arrastrados hacia los abundantes ríos y quebradas que existen en la zona. Este fenómeno de erosión hídrica se ha visto favorecido por las fuertes pendientes que dominan en la zona, además de las lluvias de gran intensidad y frecuencia. Es notable incluso, señalar que muchos ríos transportan una gran cantidad de sedimentos, fenómeno fácilmente comprobable a causa de los diferentes colores de las aguas de los ríos. Por estas razones, al describir los suelos en la actualidad, sólo es posible distinguir la presencia de cenizas en capas que no tienen más de 15 a 20 cm de espesor en los horizontes superficiales de los suelos (Figura 6-6, al final del Capítulo). En el sector de Chile Chico y a causa de la labranza de aquellos sectores que tienen agricultura intensiva, la ceniza ha sido incorporada en los horizontes superficiales, formando parte del suelo, sin que presente evidencias de meteorización. También se le ha descrito formando bolsones discontinuos y claramente diferenciables del material suelo.

Los sectores de Puyuhuapi, La Junta y Lago Verde, presentan valles muy encajonados, con escasos y pequeños sectores de terrazas, algunos de los cuales están moderadamente habilitados. Generalmente, el camino va siguiendo los cursos de agua principales, con pendientes de las laderas superiores a 60% y en muchos casos cercanas a los 90°, con afloramientos rocosos casi continuos. Cabe señalar que, a pesar de estas pendientes tan

fuertes, la mayoría de las laderas se encuentran con abundante vegetación de bosque, lo que hace presumir que existe suelo, aunque de escasa profundidad, en pequeñas salientes de la roca. La vegetación dominante es de coigüe (*Nothofagus dombeyi*), lenga (*Nothofagus pumilio*), ñirre (*Nothofagus antarctica*), tepa (*Laurelia philippiana*), luma (*Amomyrtus luma*), ciruelillo (*Embothrium coccineum*), arrayán (*Luma apiculata*), ciprés de las guaitecas (*Pilgerodendron uviferum*) y chilco (*Fuchsia magellanica*) entre otras.

Los Mallines (Figura 6-7, al final del Capítulo) corresponden a sectores que generalmente ocupan las posiciones más bajas del relieve y, por lo tanto, tienen condiciones de drenaje desde imperfecto hasta muy mal drenado. Los suelos que se encuentran en estas posiciones corresponden a suelos minerales y a suelos orgánicos. Los suelos minerales presentan una enorme variabilidad estratigráfica, de tal manera que se hace difícil establecer una secuencia de estratos u horizontes que caracterice, al menos de una manera general, a estos suelos. En el caso de los Mallines orgánicos, la variabilidad está relacionada con el contenido y el grado de humificación de los materiales orgánicos y la profundidad que alcanzan. Se les encuentra en cuencas de sedimentación lacustre, en terrazas aluviales y en planicies carentes de drenaje natural. También aparecen asociados a las planicies dejadas por los ríos a causa de las marcadas meandrificaciones, como ocurre en el Río Cisnes. Finalmente, también se les puede encontrar en las áreas de quiebre de pendientes fuertes de los cerros con las terrazas aluviales.

La característica común a todas estas situaciones es la de presentar una saturación con agua permanente con escasa variación durante las estaciones menos lluviosas del año. Su vegetación original corresponde a la de bosque nativo hidromórfico, asociado en las áreas más húmedas a ciperáceas y juncáceas. En algunas áreas éstos han sido habilitados, entendiéndose por habilitado la tala de los árboles, pero sin establecer un sistema de drenaje. Solamente en las cercanías de Puerto Aysén se puede apreciar la habilitación de un Mallín, con sistema de drenaje. Los Mallines del Río Cisnes están constituidos por el suelo Queulat, con topografía plana y microrelieve moderado, que incluyen lomajes suaves de 2 a 5% y que tienen la característica de estar permanentemente saturados.

Una característica común a la mayoría de los suelos de esta zona corresponde a la tixotropía. Este fenómeno está asociado a la presencia de geles, en este caso derivados de los materiales volcánicos (tales como la alófana, la imogolita y la ferrihidrita), cuyo efecto sobre los suelos hace que éstos cambien su comportamiento de sólido a líquido al sufrir alguna alteración física (como por ejemplo, un movimiento sísmico). Debido a la presencia de esos minerales de baja cristalinidad, que poseen una gran superficie específica, los suelos tienen la capacidad de retener una enorme cantidad de agua, la cual puede llegar a más de 100% a PMP, de tal manera que con pendientes sobre 60%, se pueden producir con facilidad los deslizamientos de estos suelos.

Con el fin de sistematizar y tratar de comprender la distribución de los suelos para una Zona que posee escasos estudios de suelos y ninguno pedogénico, se propone una sectorización más bien empírica, pero que responde bastante bien a las propiedades y características que exhiben los suelos. De esta manera el paisaje edáfico se ha subdividido en tres sectores, sin que puedan establecerse límites claros y definidos entre ellos. El primer grupo corresponde a los Andisols, taxonómicamente bien expresados, pero cuyo

sustrato puede ser morrénico, fluvio-glacial, aluvial e incluso roca. Estos suelos de origen volcánico se encuentran en lo que se podría denominar el *sector central* de la Zona, aproximadamente entre los meridianos 71°45' y 72°30'. Se asume que en toda esta área los suelos se encuentran bajo un régimen de humedad údico y un régimen de temperatura isomésico; sin embargo no existen datos que puedan corroborar estos regímenes. A partir del meridiano 71°45' hacia el este, se observa con claridad un cambio en el paisaje: desaparecen los bosques de coníferas y latifoliadas y esta vegetación es reemplazada por una cubierta más o menos densa de coironal. En igual forma las propiedades de los suelos cambian, particularmente en lo referente a la saturación de bases, la que es superior a 50% en todos los suelos descritos. En este caso y también, a causa de la falta de datos fidedignos, se ha asumido que el régimen de humedad de los suelos se aproxima en mejor forma hacia un régimen xérico. También hacia estas áreas la actividad agrícola es muy diferente a la del sector anterior, permitiendo cultivos imposibles de desarrollar en el denominado *sector central*. Un tercer grupo corresponde a los suelos de desarrollo intermedio (presencia de un horizonte cámbico) que se encuentran en terrazas aluviales, o bien, sobre sedimentos fluvio-glaciales, y que no manifiestan propiedades ándicas lo suficientemente bien expresadas como para ser considerados como Andisols.

6.2 Andisols del Sector Central (entre 71°45'W y 72°30'W aproximadamente)

Los suelos derivados de cenizas volcánicas que se encuentran en este sector no ocupan necesariamente una única posición en el paisaje, de tal manera que es posible encontrarlos en terrazas aluviales de los ríos Rosselot, Simpson y Mañihuales. Además en terrazas fluvio-glaciales, en lomeríos de origen morrénico e incluso en posición de cerros escarpados. Esta variedad de situaciones geomorfológicas hace presumir que las tefras holocénicas han tenido una gran dispersión, cubriendo extensas áreas de formas y origen diferente. Esto implica, además, que las pendientes que dominan en cada suelo y sus Fases sean también muy variables. De esta manera, en los suelos en terrazas aluviales de los ríos ya mencionados, las pendientes pueden variar entre 1 a 3% y 5 a 8%. En los lomeríos de morrenas puede ser de 5 a 8% y de 8 a 15% y en las posiciones de cerros puede ser de 15 a 20% y 30 a 50%.

De acuerdo con lo señalado en el párrafo anterior, es lógico que exista una variabilidad en los sustratos de cada suelo que, de alguna medida, están asociados a las posiciones y situación geomorfológica que los suelos ocupan en el paisaje. Así, los suelos que se encuentran en la posición de terrazas aluviales presentan un sustrato constituido por gravas redondeadas y facetadas con materiales intersticiales del tamaño arena. Los suelos sobre morrena y terrazas fluvio-glaciales tienen un sustrato formado por gravas angulares y subangulares mezcladas con arcilla y roca basáltica meteorizada. En algunos casos los suelos sobre terrazas fluvio-glaciales presentan un sustrato constituido casi exclusivamente por arcilla glacial con clara estratificación. En el caso de los suelos volcánicos en posición de cerros, el sustrato más frecuente lo constituye una roca basáltica con diferentes grados de meteorización. En casos más aislados se ha descrito una roca metamórfica, también con variable grado de descomposición. La variabilidad en los sustratos que se han descrito para los suelos queda de manifiesto en la Serie Queulat, cuyo sustrato es normalmente morrénico, con clastos angulares y subangulares distribuidos en forma irregular, pero también se le ha descrito sobre afloramientos

rocosos. Ocasionalmente se puede presentar sobre sedimentos aluviales en terrazas de escasa dimensión del Río Cisnes.

Los colores de los horizontes superficiales varían entre el negro (5YR2.5/1) y el gris muy oscuro (7.5YR3/1), en cambio hacia los horizontes inferiores no existe una tendencia clara hacia algunos colores definidos, de tal manera que se han descrito colores pardo oscuro, negro, pardo oliva, gris muy oscuro y rojo oscuro en los matices 10YR, 7.5YR, 2.5Y y 2.5YR, respectivamente. Las clases texturales de los horizontes superficiales son medias y gruesas (franco limosa, franco arenosa y areno francosa) que, prácticamente como regla general, se hacen más finas hacia los horizontes más profundos, de tal manera que son frecuentes las clases arcillo limosa y franco arcillo limosa. Dominan las estructuras de bloques subangulares a través de todos los perfiles. La mayoría de los suelos descritos son profundos y moderadamente profundos; solamente la Serie Murta se describió de 67 cm de profundidad (figuras 6-8 y 6-9, al final del Capítulo). Todos los suelos se han descrito con una buena penetración radical, que alcanza normalmente hasta el sustrato.

A causa de la posición y las pendientes en que se encuentran, todos los suelos presentan un buen drenaje y, sólo localmente, algunas Fases de la Serie Torreones, en las terrazas del río Simpson, se han descrito con drenaje moderado a imperfecto. Una de las propiedades que caracteriza a estos suelos es su marcada estratificación, donde las estratas de pómez del tipo lapillis, se intercalan entre las capas de cenizas de colores y granulometría diversa. Otra propiedad común a la mayoría de estos suelos la constituye la tixotropía, que no se manifiesta de manera uniforme en todo el perfil, sino que aparece en algunas capas de cenizas, lo cual facilita que se produzcan deslizamientos diferenciales que, en su mayoría, han sido de carácter catastrófico. En el caso del suelo Queulat y en los sectores con pendientes sobre 60% y frecuentes afloramientos rocosos, el perfil del suelo es delgado a muy delgado (menos de 30 cm de espesor). En las partes bajas del relieve el suelo es más profundo, pudiendo llegar hasta los 2 m sobre el sustrato, lo que se atribuye a los fenómenos de cumulización, facilitados por la fuerte tixotropía (de moderadamente a fuertemente untuoso) que muestra el suelo (Figura 6-10, al final del Capítulo).

Se trata de suelos desaturados en todos los horizontes, con valores extremos de 49% y 1% de SB; sin embargo, los valores más comunes se sitúan bajo 20%. El CO puede alcanzar valores elevados en los horizontes superficiales (13%) con un decrecimiento irregular con la profundidad, lo cual se relaciona con la marcada estratificación que muestra la mayoría de los suelos. El pH se mantiene en el rango ácido, con valores extremos de 6,3 y 4,7. Los rasgos redoximórficos están representados principalmente por segregaciones de Fe, generalmente de color rojo oscuro (2.5YR 3/6) solamente en algunas de las estratas intercaladas. En el caso de la Serie La Junta, se describieron, además de las segregaciones de óxidos de hierro de color pardo rojizo (5YR 4/4) (20%), acumulaciones de materia orgánica de color negro (10YR2.5/1) presumiblemente translocada, lo cual hace suponer procesos de podsolización débiles.

A causa de las pendientes, la estratificación y los fenómenos de tixotropía frecuentes en estos suelos, las Clases de Capacidad de Uso que dominan son las Clases VI y VII, y en casos especiales VIII. Los suelos derivados de cenizas volcánicas en posición de terrazas aluviales presentan mejor aptitud por su menor pendiente, adecuada profundidad y buenas condiciones de drenaje, de tal manera que son frecuentes las

Fases con Clase II y III de Capacidad de Uso. Taxonómicamente el Gran Grupo que domina es Hapludand (Serie Pollux, figuras 6-11 y 6-12, al final del Capítulo) y en menor proporción Fulvudand, con los Sub Grupos Typic, Acrudoxic y Thaptic. En los Cuadros 6-1 y 6-2 se presentan las propiedades químicas y físicas de pedones representativos de las Series Queulat (Eutric Pachic Fulvudand) y Mañihuales (Thaptic Hapludand) respectivamente (figuras 6-13, 6-14, al final del Capítulo).

Cuadro 6-1. Propiedades de la Serie Queulat (CIREN, 2005b)

| Profundidad (cm) | 0 - 17 | 17 - 36 | 36 - 68 | 68 - 100 | |
|---|----------------|---------|----------------|----------------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | AB | B ₁ | B ₁ | |
| 2-0,05 | 75,5 | 81,7 | 76,1 | 81,7 | |
| 0,05-0,002 | 14,6 | 11,4 | 17,1 | 11,4 | |
| < 0,002 | 9,9 | 6,9 | 6,8 | 6,9 | |
| Clase textural | Fa | aF | aF | aF | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 0,87 | 0,86 | 0,95 | 0,98 | |
| Carbono orgánico (%) | 12,88 | 8,99 | 9,34 | 7,77 | |
| pH _{agua} (1:1) | 4,69 | 5,01 | 5,07 | 5,20 | |
| Retención de P (%) | 98,0 | 99,0 | 99,0 | 99,0 | |
| Cationes extraíbles | Ca | 0,41 | 0,51 | 0,49 | 0,47 |
| (cmol _c kg ⁻¹) | Mg | 0,23 | 0,16 | 0,15 | 0,13 |
| | K | 0,17 | 0,07 | 0,05 | 0,06 |
| | Na | 0,21 | 0,07 | 0,06 | 0,03 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 1,02 | 0,81 | 0,75 | 0,69 | |
| Al _(KCl) | 1,39 | 0,36 | 0,14 | 0,07 | |
| Acidez a pH 8,2 (cmol _c kg ⁻¹) | 86,9 | 90,9 | 93,4 | 89,0 | |
| CIC a pH 7,0 (cmol _c kg ⁻¹) | 51,4 | 52,8 | 49,2 | 48,4 | |
| CIC por suma (cmol _c kg ⁻¹) | 87,9 | 91,7 | 94,2 | 89,7 | |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | 2,41 | 1,17 | 0,89 | 0,76 | |
| Densidad óptica DOEO | 1,35 | 1,24 | 1,11 | 0,98 | |
| Si _{ox} | 0,25 | 0,95 | 1,78 | 1,83 | |
| Al _{ox} + ½ Fe _{ox} (%) | 4,51 | 5,52 | 7,50 | 8,32 | |
| P - Olsen (mg kg ⁻¹) | 3,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | |
| Índice melánico | 2,50 | 2,45 | 2,50 | 2,52 | |
| Saturación básica a pH 7,0 (%) | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,0 | |
| Saturación básica por suma (%) | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | |

Cuadro 6-2. Propiedades de la Serie Mañihuales (CIREN, 2005b)

| Profundidad (cm) | | 0 - 4 | 4 - 8 | 8 - 13 | 13 - 21 | 21 - 38 | 38 - 59 | 59 - 77 | 77 - 100 |
|---|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | | O | A ₁ | A ₂₁ | A ₂₂ | 2C | 3B ₁ | 3B ₂ | 4B ₃ |
| Distribución de partículas por tamaño (%) | 2-0,05 0,05-0,002 < 0,002 | 58,2 31,1 10,7 | 57,4 32,7 9,9 | 59,2 29,4 11,5 | 60,9 30,0 9,1 | 81,0 12,8 6,1 | 71,1 24,2 4,7 | 60,2 31,1 8,7 | 58,2 31,9 9,9 |
| Clase textural | | Fa | Fa | Fa | Fa | aF | Fa | Fa | Fa |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 0,72 | 0,78 | 0,79 | 0,87 | 1,03 | 0,78 | 0,69 | 0,72 |
| Carbono orgánico (%) | | 8,47 | 8,29 | 8,53 | 8,87 | 1,45 | 3,54 | 5,28 | 4,18 |
| pH _{agua} (1:1) | | 6,04 | 5,98 | 5,82 | 5,27 | 5,76 | 5,73 | 5,62 | 5,82 |
| Retención de P (%) | | 82 | 89 | 97 | 91 | 80 | 98 | 98 | 98 |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca Mg K Na | 9,14 2,07 0,38 0,22 | 6,89 1,58 0,25 0,15 | 3,39 0,79 0,19 0,13 | 2,02 0,46 0,18 0,07 | 0,65 0,10 0,03 0,03 | 0,95 0,15 0,03 0,09 | 1,57 0,21 0,02 0,10 | 1,10 0,18 0,03 0,10 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | | 11,81 | 8,87 | 4,5 | 2,73 | 0,81 | 1,22 | 1,90 | 1,41 |
| Al _(KCl) | | 0,04 | 0,04 | 0,09 | 0,72 | 0,14 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| Acidez a pH 8,2 | | 34,4 | 41,4 | 84,1 | 60,9 | 17,2 | 41,9 | 75,9 | 64,6 |
| CIC a pH 7,0 (cmol _c kg ⁻¹) | | 32,8 | 29,3 | 33,7 | 29,0 | 7,8 | 22,0 | 28,2 | 31,3 |
| CIC por suma (cmol _c kg ⁻¹) | | 46,2 | 50,3 | 88,6 | 63,6 | 18,1 | 43,1 | 77,8 | 66,0 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | | 11,8 | 8,9 | 4,6 | 3,5 | 1,0 | 1,2 | 1,9 | 1,4 |
| Densidad óptica DOEO | | 0,36 | 0,43 | 0,65 | 0,70 | 0,30 | 0,46 | 0,51 | 0,44 |
| Si _{ox} | | 0,52 | 0,50 | 0,99 | 0,18 | 0,42 | 1,44 | 1,32 | 1,41 |
| Al _{ox} + ½ Fe _{ox} (%) | | 2,27 | 2,45 | 4,47 | 1,92 | 1,53 | 4,54 | 4,67 | 5,03 |
| P - Olsen (mg kg ⁻¹) | | 13,0 | 5,0 | 8,0 | 14,0 | 5,0 | 5,0 | 2,0 | 2,0 |
| Índice melánico | | 2,17 | 2,13 | 2,17 | 2,10 | 2,44 | 2,28 | 1,76 | 2,35 |
| Saturación básica a pH 7,0 (%) | | 36,0 | 30,0 | 13,0 | 9,0 | 10,0 | 6,0 | 7,0 | 5,0 |
| Saturación básica por suma (%) | | 26,0 | 18,0 | 5,0 | 4,0 | 4,0 | 3,0 | 2,0 | 2,0 |

6.3 Suelos con alta saturación de bases (desde 71°45' hacia el este)

Aun cuando no se tienen datos en detalle para los regímenes de humedad y temperatura de los suelos de este sector, se ha asumido que ellos presentan una condición próxima a un régimen de humedad xérico y de temperatura térmico. Esta presunción se ha basado, además de las condiciones agrícolas muy contrastantes con las condiciones de otros sectores de la Zona, especialmente en el resultado de los análisis químicos. El dato más significativo está relacionado con la SB del complejo de intercambio que, para estos suelos, se encuentra siempre sobre 50%, a través de todo el perfil; en contraste con los otros suelos de la Región, cuya SB normalmente se encuentra bajo 30% y muy frecuentemente bajo 10%.

La mayoría de los suelos de este sector se presenta en posición de terrazas lacustres, planicies de origen glacial, valles glaciales con fondos morrénicos y en áreas claramente de origen aluvial. Estas áreas de influencia aluvial son las que presentan las pendientes más suaves, siendo frecuentes los suelos planos y casi planos (0 a 1% y 1 a 3%) hasta suavemente ondulados (5 a 8%). En el caso de los suelos que se encuentran en planicies de origen glacial y fondos morrénicos, el relieve es más acentuado, de tal manera que dominan las pendientes complejas desde suavemente ondulada (5 a 8%) hasta fuertemente ondulada (15 a 20%).

Los suelos de la Serie La Estancia (figuras 6-15 y 6-16, al final del Capítulo) merecen una consideración aparte, a causa de sus características particulares y muy claramente definidas. Su sustrato está constituido por gravas angulares finas, medias y gruesas. El

paisaje está dominado por procesos glaciales y postglaciales. El suelo ha evolucionado en una amplia planicie, con pendientes dominantes entre 2 y 5%, con bloques erráticos comunes. Esta planicie se encuentra jalonada por morrenas laterales de orientación dominante este-oeste, que se adosan a cordones montañosos de orientación similar. La planicie se encuentra interrumpida hacia el oeste por una morrena terminal (*Loma Atravesada*) que habría actuado como un verdadero tapón a los escurrimientos de las aguas, una vez que comenzaron los procesos de fusión glacial. De esta forma se generaron las condiciones adecuadas para la formación de una cuenca lacustre, cuyo drenaje fue posible a través de una estrecha garganta que labró el Río Cisnes, en el costado sur de la *Loma Atravesada*.

Posteriormente, a causa de las condiciones climáticas más bien xéricas (entre 300 y 500 mm de precipitación anual, concentrados en los meses de invierno) que dominan en toda la región, las condiciones lacustres del área se habrían ido transformado en condiciones de pantano o de semipantano, donde se depositaron sedimentos finos, tales como limos y arcillas. En esta amplia planicie quedan vestigios de estos procesos, representados por pequeñas lagunas que aún persisten en algunas depresiones y cuyo proceso de desaparición es evidente, a causa de las marcas dejadas por los niveles superiores del agua. Es muy probable que estos procesos lacustres, semilacustres, pantanosos y semipantanosos se hayan desarrollado sobre la morrena de fondo, ya que el sustrato del suelo está constituido por gravas angulares y subangulares abundantes sin orientación definida. Las etapas de pantano o de semipantano, como procesos de formación del suelo, quedan en evidencia a través de los rasgos redoximórficos comunes, sean ellos empobrecimientos (matriz reducida) y enriquecimientos (acumulaciones de Fe^{+++}). Finalmente, cabe señalar que se describieron fragmentos de vidrio volcánico a partir del horizonte A_2 , lo cual no es de extrañar, debido a la intensa actividad volcánica holocénica evidenciada en toda la Zona. Los vidrios volcánicos se encuentran, en varios sectores, mezclados con los sedimentos lacustres o semilacustres.

Los suelos pertenecientes a este grupo son moderadamente profundos y profundos (entre 50 cm y 108 cm) sobre un sustrato que puede ser variable: sucesión de estratas de arenas intercaladas con capas de clases texturales más finas, tales como franco arenosa, gravas angulares con material grueso intersticial y arcillas glaciales. Los colores de los horizontes superficiales se mantienen en el pardo oscuro, pardo grisáceo oscuro, negro y solamente se ha reportado un caso de color pardo rojizo oscuro (Serie Valle de Chacabuco, figuras 6-17 y 6-18, al final del Capítulo). Generalmente el valor (Munsell) aumenta hacia los horizontes más profundos, determinando colores más claros. Tal como se podría esperar, tratándose de suelos de origen sedimentario, las clases texturales son muy variables, tanto para los suelos de origen aluvial como para aquellos de origen glacial; sin embargo, se ha podido apreciar que existe una cierta uniformidad textural dentro de cada perfil. Así, un suelo que tiene una clase textural arcillosa en superficie cambia a franco limosa en el horizonte más profundo (Serie Chile Chico); en cambio otro suelo que tiene una clase textural franco arenosa en superficie, cambia a arena francosa en el horizonte más profundo (Serie Fachinal, figuras 6-19 y 6-20, al final del capítulo). Tampoco existe una tendencia a que los horizontes más profundos posean clases texturales más gruesas, pues en la Serie La Estancia el horizonte superficial es franco arcillo arenoso y el horizonte más profundo es arcillo limoso. Se trata de suelos bien drenados, con la excepción de algunas Fases de los suelos de origen aluvial (Series Chile Chico y Fachinal) que poseen drenaje imperfecto. Todos presentan buena penetración radical hasta la profundidad de descripción.

En casi todos los suelos descritos la SB se encuentra sobre 85%. Solamente en la Serie Puesto Viejo (figuras 6-21 y 6-22, al final del Capítulo) es de 67%. El pH es más ácido en los horizontes superficiales, con valores entre 6,3 y 6,8; en cambio en los horizontes más profundos se hace más básico, alcanzando valores de 8,3 y 8,6. Las Fases con drenaje imperfecto manifiestan rasgos redoximórficos, casi desde la superficie, de comunes a abundantes, en particular en las Series Chile Chico y Fachinal y en algunas Fases de la Serie La Estancia. Son frecuentes las estratas intercaladas, ya sea de vidrios volcánicos o de cenizas volcánicas. Solamente en la Serie Fachinal se han descrito filamentos de carbonatos bajo los 13 cm de profundidad.

La aptitud agrícola de estos suelos es más bien limitada: a la mayoría de las Fases se les ha asignado Clases entre IV y VII de Capacidad de Uso. Solamente algunas de las Fases de las Series Chile Chico y Fachinal fueron descritas con Clase III de Capacidad de Uso. Desde el punto de vista taxonómico, la mayoría de los suelos califican como Haploxeroll y Palexeroll y solamente la Serie Puesto Viejo se clasificó como Haploxerept. En el Cuadro 6-3 se presentan las propiedades químicas y físicas de la Serie La Estancia (Typic Palexeroll) considerada representativa de los suelos de este grupo.

Cuadro 6-3. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil de la Serie La Estancia (CIREN, 2005b)

| Profundidad (cm) | | 0 - 12 | 12 - 29 | 29 - 74 | 74 - 105 |
|---|------------|----------------|----------------|----------------|----------|
| | | A ₁ | A ₂ | B ₁ | BC |
| Distribución de partículas por tamaño (%) | 2-0,05 | 47,2 | 41,7 | 0,4 | 0,9 |
| | 0,05-0,002 | 31,7 | 31,8 | 29,4 | 29,3 |
| | < 0,002 | 21,1 | 26,5 | 70,2 | 69,8 |
| Clase textural | | F | F | A | A |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 1,17 | 1,15 | 1,02 | 1,06 |
| Carbono orgánico (%) | | 1,91 | 1,45 | 0,75 | 0,41 |
| pH _{agua} (1:1) | | 6,46 | 6,50 | 7,56 | 8,33 |
| Retención de P (%) | | 19 | 24 | 31 | 29 |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 7,26 | 8,48 | 16,31 | 15,69 |
| | Mg | 3,04 | 3,72 | 9,05 | 8,71 |
| | K | 0,60 | 0,31 | 0,19 | 0,13 |
| | Na | 0,10 | 0,22 | 0,90 | 0,91 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | | 11,00 | 12,73 | 26,45 | 25,44 |
| Al _(KCl) | | 0,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 |
| Acidez a pH 8,2 | | 29,1 | 27,1 | 42,4 | 26,4 |
| CIC a pH 7,0 (cmol _c kg ⁻¹) | | 12,2 | 19,1 | 33,8 | 26,8 |
| CIC por suma (cmol _c kg ⁻¹) | | 40,1 | 39,8 | 68,9 | 51,9 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | | 11,0 | 12,7 | 26,5 | 25,4 |
| Densidad óptica DOEO | | 0,07 | 0,09 | 0,05 | 0,03 |
| Si _{ox} | | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,05 |
| Al _{ox} + ½ Fe _{ox} (%) | | 0,28 | 0,35 | 0,22 | 0,20 |
| P - Olsen (mg kg ⁻¹) | | 12,0 | 3,0 | 1,0 | 2,0 |
| Índice melánico | | 1,65 | 1,66 | 1,70 | 2,33 |
| Saturación básica a pH 7,0 (%) | | 90,0 | 67,0 | 78,0 | 95,0 |
| Saturación básica por suma (%) | | 27,0 | 32,0 | 38,0 | 49,0 |

6.4 Suelos en posición de terrazas con horizonte cámbico

Se ha estimado que se puede separar a estos suelos como un grupo aparte, en función de su grado de evolución y de la posición que ocupan en el paisaje. Se trata de suelos que no han desarrollado propiedades ándicas, de tal manera que no se pueden considerar Andisols, la SB es generalmente inferior a 50% y se distribuyen en la zona de régimen údico. Se encuentran en posición de lomajes suaves, terrazas aluviales recientes y remanentes cuyas pendientes más frecuentes son de 5 a 8%, de 8 a 15% y, en el caso de los lomajes más pronunciados, pueden alcanzar pendientes de hasta 20 a 30%. En muchos casos se hace difícil identificar y separar los procesos que han dado origen a estos suelos debido a la superposición de ellos, tanto en el tiempo como en el paisaje. Así, muchas de las terrazas que se asocian a estos suelos se encuentran en los valles de los ríos, sin embargo el sustrato está constituido por gravas angulares o subangulares que más bien corresponden a un tipo de transporte diferente. En otros casos los sedimentos fluvio-glaciales son claramente identificables, mientras que en otros sectores, el sustrato está constituido por arcillas glaciales.

Los horizontes superficiales tienen colores que se mantienen en el pardo oscuro, pardo grisáceo muy oscuro y negro, en los matices 10YR y 7.5YR. Los horizontes más profundos en contacto con el sustrato, generalmente presentan un valor (Munsell) más alto, llegando a un pardo amarillento (10YR5/4) en el caso del suelo Coyhaique. Una característica que es común a todos estos suelos lo constituye el incremento de la fracción fina (arcilla) hacia los horizontes más profundos. De esta manera, las clases texturales de los epipedones varían entre franco arenosa y areno francosa, en cambio en los horizontes más profundos las clases que dominan son franco arcillo limosa, franco arcillo arenosa y arcillo limosa. La estructura de bloques subangulares finos y medios es muy uniforme en todos los horizontes, incluyendo los epipedones. La profundidad hasta el sustrato es variable desde 80 cm, 110 cm y hasta 160 cm. Las condiciones texturales y estructurales permiten una adecuada penetración de las raíces, de tal manera que las raíces finas se han descrito hasta los horizontes más profundos (Figuras 6-23 y 6-24, al final del Capítulo).

Se trata de suelos bien drenados, en los cuales se han descrito algunos rasgos redoximórficos escasos, generalmente bajo los 100 cm. La mayoría de los perfiles son estratificados y, en algunos de ellos, se han identificado estratas de pómez intercaladas, fenómeno que es frecuente en la mayoría de los suelos de la Zona. La SB es variable, aún cuando siempre se mantiene en valores medios a bajos, es decir, entre 61% y 6%. La estratificación de estos suelos queda en evidencia con la distribución irregular del CO con la profundidad, tal como ocurre en la Serie Simpson (Cuadro 6-5). El pH se mantiene en valores entre ligeramente ácido a neutro, esto es, entre 6,0 y 7,0.

La aptitud agrícola de estos suelos es limitada, tanto por la estratificación de ellos como por las pendientes en que se encuentran. Por esta razón son frecuentes las Fases de las Series a las cuales se les han asignado Clases de Capacidad de Uso IV, VI y VII. Solamente algunas Fases de terrazas con influencia aluvial, las cuales presentan menores pendientes, tienen Clase III. Todos los suelos que se han utilizado para esta discusión, tales como las Series Cochrane (figuras 6-25 y 6-26, al final del Capítulo), Coyhaique, Ñirehuao (figuras 6-27 y 6-28, al final del Capítulo) y Simpson, han sido clasificados en el Gran Grupo Dystrudept, principalmente en los SubGrupos Andic y Húmic. En los Cuadros 6-4 y 6-5 se presentan las propiedades químicas y físicas de las

Series Ñirehuao (Humic Dystrudept) y Simpson (Andic Dystrudept) consideradas representativas de los suelos de este grupo.

Cuadro 6-4. Propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil de la Serie Ñirehuao (CIREN, 2005b)

| Profundidad cm. | | 0 - 20 | 20 - 32 | 32 - 43 | 43 - 51 | 51 - 80 |
|---|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | A ₁ | A ₂ | B ₁ | B ₂ | B ₃ |
| Distribución de partículas por tamaño (%) | 2-0,05 | 70,7 | 63,1 | 57,2 | 54,4 | 54,8 |
| | 0,05-0,002 | 21,5 | 25,7 | 27,0 | 23,5 | 21,6 |
| | < 0,002 | 7,9 | 11,3 | 15,8 | 22,2 | 23,6 |
| Clase textural | | Fa | Fa | Fa | FAa | FAa |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 1,07 | 1,16 | 1,29 | 1,11 | 1,23 |
| Carbono orgánico (%) | | 5,39 | 2,84 | 1,62 | 0,87 | 0,70 |
| pH _{agua} (1:1) | | 6,13 | 6,17 | 6,20 | 6,16 | 6,35 |
| Retención de P (%) | | 48,0 | 51,0 | 56,0 | 48,0 | 34,0 |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 11,80 | 6,69 | 5,16 | 4,80 | 4,95 |
| | Mg | 2,04 | 1,17 | 1,32 | 1,78 | 1,88 |
| | K | 0,51 | 0,59 | 0,72 | 0,65 | 0,32 |
| | Na | 0,09 | 0,08 | 0,16 | 0,20 | 0,23 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | | 14,44 | 8,53 | 7,36 | 7,43 | 7,38 |
| Al _(KCl) | | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,03 | 0,03 |
| Acidez a pH 8,2 | | 36,4 | 43,9 | 34,7 | 40,0 | 26,7 |
| CIC a pH 7,0 (cmol _c kg ⁻¹) | | 25,1 | 18,8 | 18,5 | 13,1 | 13,8 |
| CIC por suma (cmol _c kg ⁻¹) | | 50,9 | 52,4 | 42,1 | 47,4 | 34,0 |
| CICE (cmol _c kg ⁻¹) | | 14,5 | 8,6 | 7,4 | 7,5 | 7,4 |
| Densidad óptica DOEO | | 0,40 | 0,22 | 0,15 | 0,13 | 0,11 |
| Si _{ox} | | 0,16 | 0,29 | 0,27 | 0,18 | 0,04 |
| Al _{ox} + ½ Fe _{ox} (%) | | 1,09 | 1,30 | 1,18 | 0,97 | 0,51 |
| P - Olsen (mg kg ⁻¹) | | 8,0 | 4,0 | 3,0 | 4,0 | 2,0 |
| Índice melánico | | 1,81 | 1,68 | 1,65 | 1,66 | 1,69 |
| Saturación básica a pH 7,0 (%) | | 57,0 | 45,0 | 40,0 | 57,0 | 54,0 |
| Saturación básica por suma % | | 28,0 | 16,0 | 17,0 | 16,0 | 22,0 |

Cuadro 6-5. Propiedades físicas, químicas y fisico-químicas de un perfil de la Serie Simpson (CIREN, 2005b)

| Profundidad (cm) | 0 - 10 | 10 - 31 | 31 - 68 | 68 - 82 | 82 - 110 | |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| Distribución de partículas por tamaño (%) | A ₁ | A ₂ | B ₁ | B ₂ | B ₃ | |
| 2-0,05 | 48,5 | 56,9 | 45,6 | 50,4 | 45,3 | |
| 0,05-0,002 | 47,1 | 33,4 | 42,7 | 39,7 | 46,4 | |
| < 0,002 | 4,4 | 9,7 | 11,7 | 9,9 | 8,3 | |
| Clase textural | Fa | Fa | F | F | Fa | |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | 0,72 | 0,88 | 0,79 | 0,84 | 0,73 | |
| Retención de agua 33 kPa (%) (Suelo seco) | 31,8 | 30,8 | 37,1 | 29,4 | 36,2 | |
| Retención de agua 1.500 kPa (%) (Suelo seco) | 19,1 | 17,3 | 24,4 | 16,6 | 21,5 | |
| Retención de agua 1.500 kPa (%) (Suelo húmedo) | 17,7 | 13,3 | 23,6 | 20,2 | 27,1 | |
| Carbono orgánico (%) | 4,29 | 3,54 | 4,87 | 2,26 | 3,25 | |
| pH _{agua} (1:1) | 6,49 | 6,29 | 6,21 | 6,48 | 6,46 | |
| Retención de P (%) | 72,0 | 78,0 | 81,0 | 89,0 | 88,0 | |
| Cationes extraíbles | Ca | 11,3 | 5,14 | 6,39 | 4,29 | 5,44 |
| | Mg | 3,22 | 1,61 | 1,62 | 1,11 | 1,86 |
| (cmol _c /kg) | K | 1,42 | 0,88 | 0,50 | 0,40 | 0,27 |
| | Na | 0,04 | 0,03 | 0,09 | 0,14 | 0,23 |
| Suma de bases (cmol+/kg) | 15,71 | 7,66 | 8,60 | 5,94 | 7,80 | |
| Al _{KCl} | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | |
| Acidez a pH 8,2 | 25,0 | 11,8 | 31,6 | 25,4 | 30,8 | |
| CIC a pH 7,0 | 32,6 | 25,1 | 30,6 | 24,5 | 31,2 | |
| CIC por suma | 40,8 | 19,5 | 40,2 | 31,4 | 38,6 | |
| CICE (CIC Efectiva) | 15,7 | 7,7 | 8,6 | 5,9 | 7,8 | |
| Densidad óptica DOEO | 0,34 | 0,30 | 0,35 | 0,23 | 0,30 | |
| Si _{ox} | 0,88 | 0,90 | 0,78 | 1,15 | 1,11 | |
| Al _{ox} + ½ Fe _{ox} | 2,41 | 2,53 | 2,70 | 2,75 | 2,93 | |
| P-Olsen (mg kg ⁻¹) | 5,0 | 2,0 | -- | -- | -- | |
| Índice melánico | 2,04 | 1,75 | 1,85 | 2,33 | 1,94 | |
| Saturación de Al (%) | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | |
| Saturación básica a pH 7,0 (%) | 48,0 | 31,0 | 28,0 | 24,0 | 25,0 | |
| Saturación básica por suma (%) | 39,0 | 39,0 | 21,0 | 19,0 | 20,0 | |

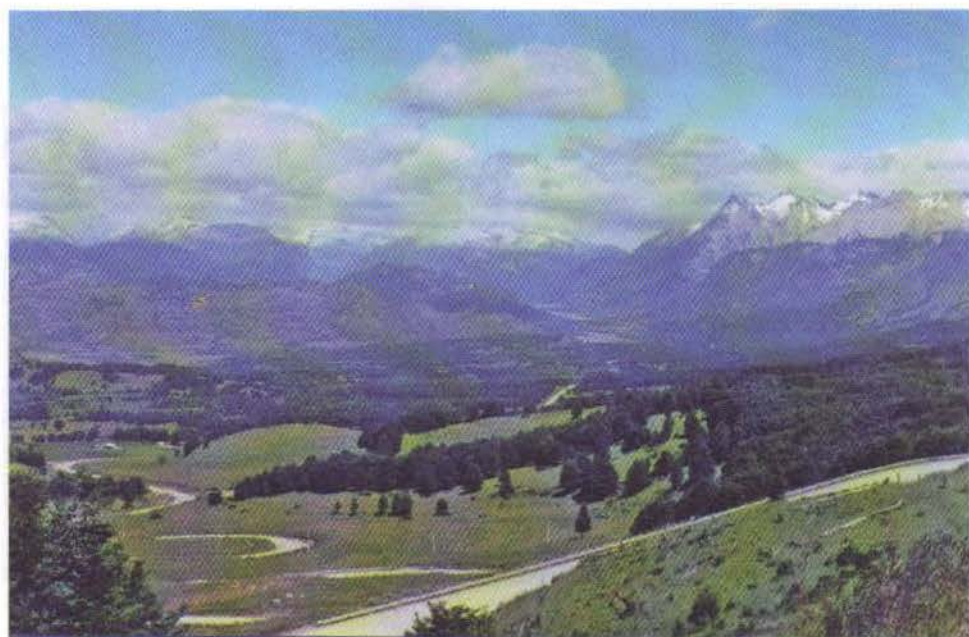


Figura 6-1. Sector de Cerro Castillo y Río Ibáñez. El paisaje de la Región de Aysén está dominado por dos clases de procesos, los volcánicos y los glaciales, que se superponen y se asocian indistintamente, haciendo muy compleja la interpretación de la distribución de los suelos.



Figura 6-2. Valle de origen glacial, en las proximidades de Villa Ortega. En el costado derecho se aprecia una hombrera.



Figura 6-3. Los procesos de erosión aluvial activos influyen en que los valles de los ríos se encuentren en cajones estrechos y profundos.

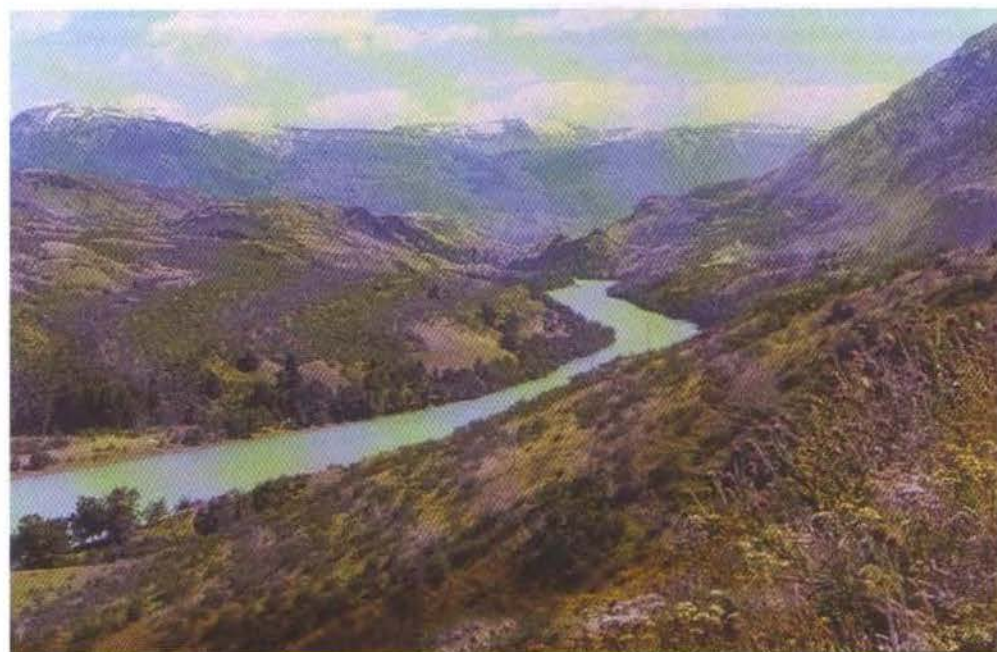


Figura 6-4. Río Baker en las proximidades de la Hacienda Chacabuco. La intensa erosión aluvial del río ha labrado valles estrechos y profundos. Se considera que estos procesos de erosión aluvial son activos en la actualidad.

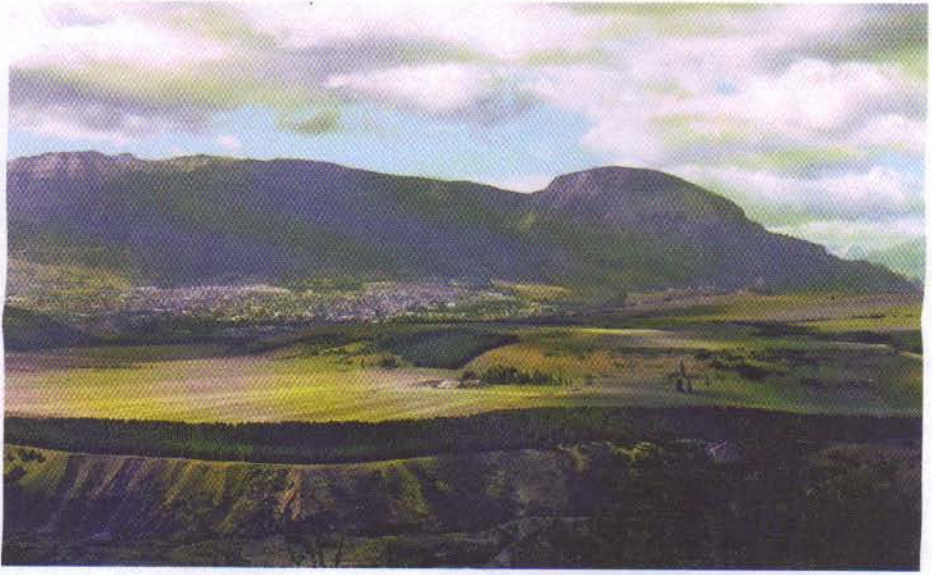


Figura 6-5. En las proximidades de la ciudad de Coyhaique, las terrazas aluviales pueden alcanzar dimensiones de importancia, tanto por su extensión como por la calidad de los suelos que las conforman, constituyendo áreas de potencialidad agrícola o ganadera.



Figura 6-6. Capa de cenizas volcánicas generadas por la erupción del volcán Hudson. En la actualidad gran parte de los materiales (cenizas y lapillis) han sido lavados y arrastrados hacia los abundantes ríos y quebradas que existen en la zona, de tal forma que las capas de cenizas no tienen más de 15 a 20 cm de espesor en los horizontes superficiales de los suelos.

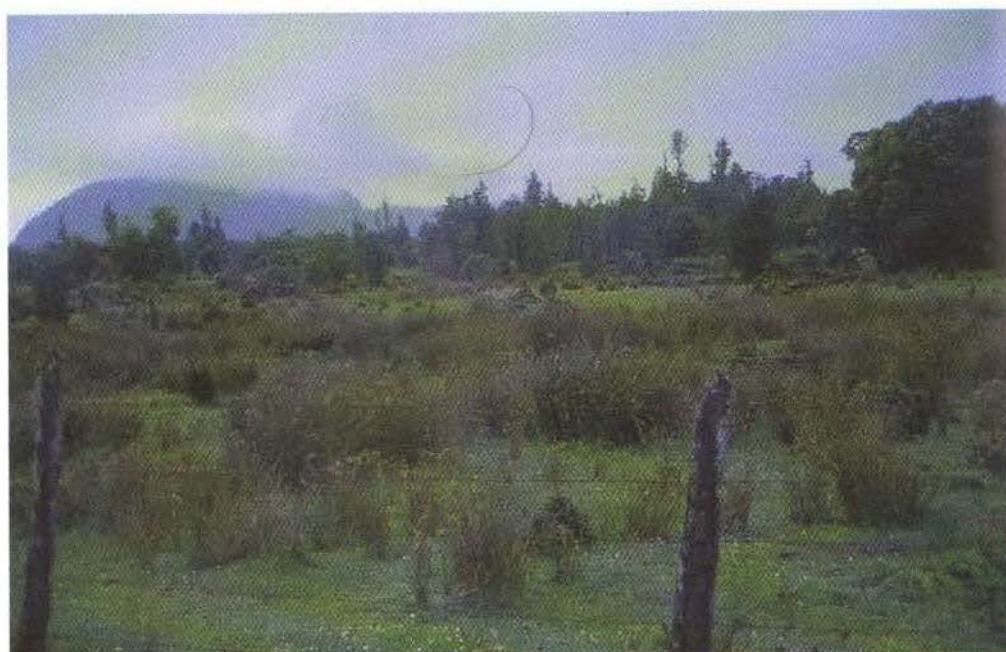


Figura 6-7. Los Mallines corresponden a sectores que generalmente ocupan las posiciones más bajas del relieve y, por lo tanto, tienen condiciones de drenaje desde imperfecto hasta muy mal drenado. Los suelos, ya sean minerales u orgánicos, se les encuentra en cuencas de sedimentación lacustre, en terrazas aluviales y en planicies carentes de drenaje natural.



Figura 6-8. Perfil de la Serie Murta. Estos suelos se han desarrollado sobre morrenas y terrazas fluvio-glaciales. Tienen un sustrato formado por gravas angulares y subangulares mezcladas con arcilla y roca basáltica meteorizada.



Figura 6-9. Paisaje de la Serie Murta, en las proximidades del Lago General Carrera.



Figura 6-10. Perfil de la Serie Queulat. Una de las propiedades que caracteriza a estos suelos es su marcada estratificación, donde las estratas de pómez del tipo lapillis, se intercalan entre las capas de cenizas de colores y granulometría diversa. Otra propiedad, común a la mayoría de estos suelos, la constituye la tixotropía que no se manifiesta de manera uniforme en todo el perfil, sino que aparece en algunas capas de cenizas, lo cual facilita que se produzcan deslizamientos diferenciales que, en su mayoría, han sido de carácter catastrófico.



Figura 6-11. Perfil de la Serie Pollux. Se trata de suelos con buena penetración radical que alcanza normalmente hasta el sustrato. Una de las propiedades que caracteriza a estos suelos es su marcada estratificación, donde las estratas de pómez del tipo lapillis, se intercalan entre las capas de cenizas de colores y granulometría diversa.



Figura 6-12. Paisaje de la Serie Pollux. A causa de la posición y las pendientes en que se encuentran los suelos, ellos presentan un buen drenaje y sólo localmente, algunas Fases se han descrito con drenaje moderado a imperfecto. En general estos suelos derivados de cenizas volcánicas presentan buena aptitud para su uso agrícola.

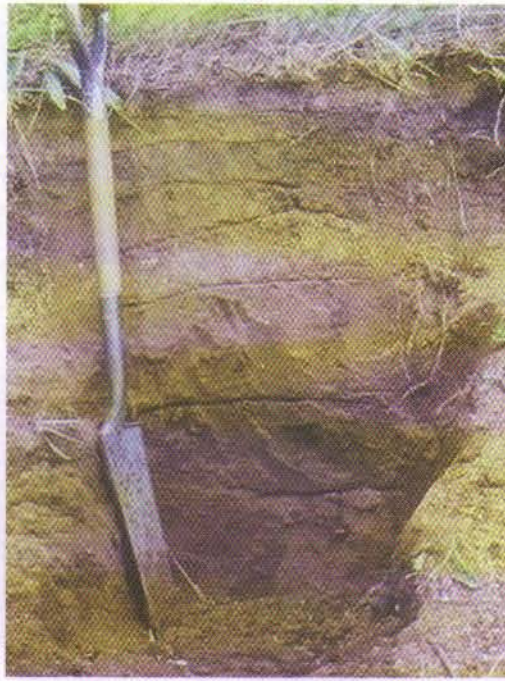


Figura 6-13. Perfil de la Serie Mañihuales. Los suelos derivados de cenizas volcánicas se caracterizan por una marcada estratificación, donde las estratas de pómez del tipo lapillis, se intercalan entre las capas de cenizas de colores y granulometría diversa. Algunas capas de estos suelos son tixotrópicas, lo cual facilita que se produzcan deslizamientos diferenciales.



Figura 6-14. Paisaje de la Serie Mañihuales. Los suelos derivados de cenizas volcánicas en posición de terrazas aluviales presentan mejor aptitud por su menor pendiente, adecuada profundidad y buenas condiciones de drenaje, de tal manera que son frecuentes las Fases con Clase II y III de Capacidad de Uso.



Figura 6-15. Perfil de la Serie La Estancia. Su sustrato está constituido por gravas angulares finas, medias y gruesas. El paisaje está dominado por procesos glaciales y postglaciales, con bloques erráticos comunes.



Figura 6-16. Paisaje de la Serie La Estancia. El suelo ha evolucionado en una amplia planicie dominada por procesos glaciales y postglaciales, con bloques erráticos comunes y pendientes entre 2 y 5%. Esta planicie se encuentra jalonada por morrenas laterales de orientación dominante este-oeste, que se adosan a cordones montañosos de orientación similar. La planicie se encuentra interrumpida hacia el oeste por una morrena terminal (“Loma Atravesada”) que habría actuado como un verdadero tapón a los escurrimientos de las aguas una vez que comenzaron los procesos de fusión glacial.



Figura 6-17. Perfil de la Serie Valle de Chacabuco. Los suelos pertenecientes a esta Serie son moderadamente profundos y profundos, sobre un sustrato que puede ser variable: sucesión de estratas de arenas intercaladas con capas de clases texturales más finas, tales como franco arenosa, gravas angulares con material grueso intersticial y arcillas glaciales. Los colores de los horizontes superficiales se mantienen en el pardo oscuro, pardo grisáceo oscuro y negro. Generalmente el valor (Munsell) aumenta hacia los horizontes más profundos, determinando colores más claros.



Figura 6-18. Paisaje de la Serie Valle de Chacabuco. Ocupa todo el fondo del Valle de Chacabuco en posición de terrazas de origen glacial. Las pendientes pueden variar entre 2 y 5%. En los terrenos más escarpados puede llegar hasta 20%

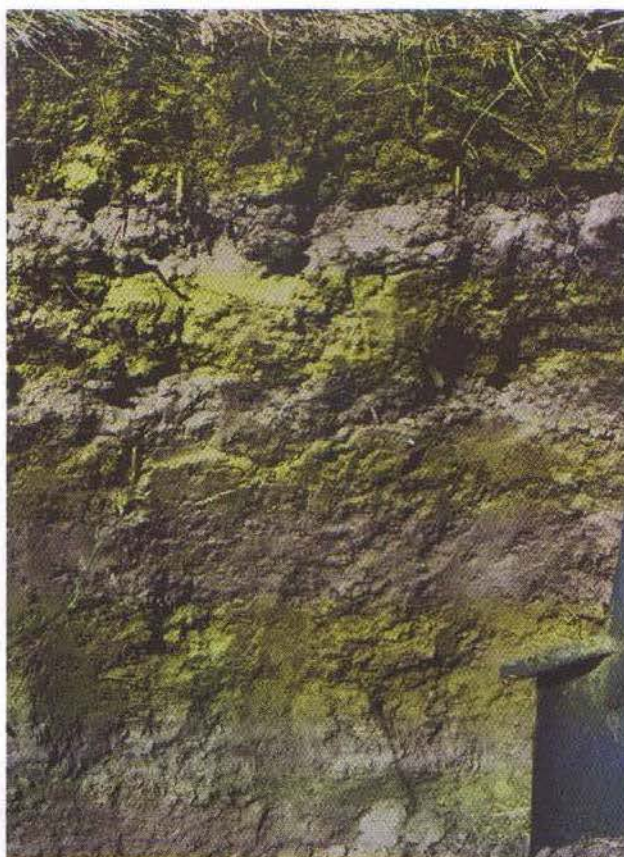


Figura 6-19. Perfil de la Serie Fachinal. Los suelos de este sector son moderadamente profundos y profundos (entre 50 cm y 108 cm) sobre un sustrato que puede ser variable: sucesión de estratas de arenas intercaladas con capas de clases texturales más finas tales como franco arenosa, gravas angulares con material grueso intersticial y arcillas glaciales.



Figura 6-20. Paisaje de la Serie Fachinal. La aptitud agrícola de la mayoría de los suelos de este sector es limitada. A la mayoría de las Fases se les ha asignado Clases entre IV y VII de Capacidad de Uso. Solamente algunas Fases de las Series Chile Chico y Fachinal fueron descritas con Clase III.



Figura 6-21. Perfil de la Serie Puesto Viejo. Se trata de un suelo sedimentario, influenciado por eventos glacio-fluviales.



Figura 6-22. Paisaje de la Serie Puesto Viejo. Las características de la vegetación evidencian una condición de mayor aridez que en los sectores más centrales de la Zona.



Figura 6-23. Perfil de la Serie Simpson. Las clases texturales de los epipedones varían entre franco arenosa y areno francosa, en cambio en los horizontes más profundos las clases que dominan son franco arcillo limosa, franco arcillo arenosa y arcillo limosa.

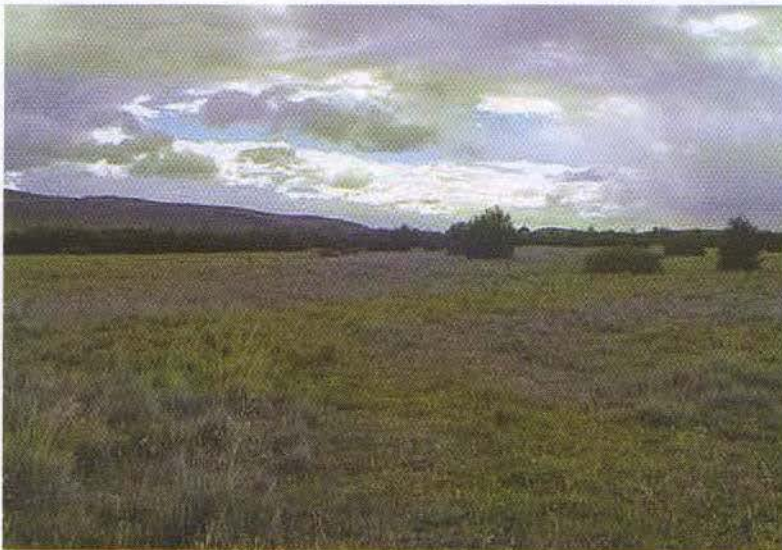


Figura 6-24. Paisaje de la Serie Simpson. Se encuentra en posición de lomajes suaves, en terrazas aluviales recientes y remanentes, cuyas pendientes más frecuentes son de 5 a 8% y de 8 a 15%.



Figura 6-25. Perfil de la Serie Cochrane. Se trata de suelos bien drenados en los cuales se han descrito algunos rasgos redoximórficos escasos y generalmente bajo los 100 cm. La mayoría de los perfiles son estratificados y, en algunos de ellos, se han identificado estratas de pómez intercaladas.



Figura 6-26. Paisaje de la Serie Cochrane. La aptitud agrícola de estos suelos es limitada, tanto por la estratificación de ellos así como por las pendientes en que se encuentran. Por esta razón son frecuentes las Clases IV, VI y VII de Capacidad de Uso.



Figura 6-27. Perfil de la Serie Ñirehuao. Muchas de las terrazas que se asocian a estos suelos se encuentran en los valles de los ríos, sin embargo el sustrato está constituido por gravas angulares o subangulares que más bien corresponden a un tipo de transporte diferente. En otros casos los sedimentos fluvio-glaciales son claramente identificables y, en otros, el sustrato está constituido por arcillas glaciales.



Figura 6-28. Paisaje de la Serie Ñirehuao. Se presenta ocupando terrazas remanentes, principalmente de origen fluvio-glacial.

CAPÍTULO 7

Suelos de la Zona de Magallanes (Desde 50°LS hasta 55°LS)



Luzio, W., Casanova, M. Seguel, O. 2009. Suelos de la Zona de Magallanes (Desde 50° LS hasta 55° LS). pp: 291- 306. *In:* Suelos de Chile. (Luzio, W., Editor). Universidad de Chile.

7.1 Antecedentes Generales

Desde el punto de vista fisiográfico, tradicionalmente, en esta zona se han identificado tres entidades relevantes: La Cordillera Magallánica, la Precordillera Magallánica y la Pampa.

La Cordillera Magallánica está constituida por un batolito granítico como basamento cristalino, además de rocas efusivas de diferentes edades. Este macizo se levanta con un aspecto de muralla, cuyas máximas alturas sobrepasan los 3.000 msnm. (Figura 7-1, al final del Capítulo). Petrográficamente dominan los esquistos, filitas y gneisses del Paleozoico Inferior o del Precámbrico. El relieve actual está completamente influenciado por la acción glacial cuaternaria (IREN, 1967).

La Precordillera Magallánica posee un relieve más suave que la Cordillera y está constituida por rocas sedimentarias y metamórficas, tales como areniscas y pizarras, atribuidas al Cretáceo y al Terciario. También se han descrito materiales volcánicos en contacto con la Cordillera Magallánica. Hacia el este el relieve se suaviza, constituyendo un paisaje ligeramente ondulado a plano. También en esta zona se han descrito paisajes de mesas, mesetas y cuevas (IREN, 1967).

La denominada Pampa se extiende desde la Precordillera hacia el Océano Atlántico, de relieve plano y cuyo basamento está conformado por sedimentos terciarios (areniscas y arcillas) sobre los cuales se han depositado los rellenos glaciales y fluvio-glaciales cuaternarios.

Bentley y McCulloch (2005) han propuesto un bosquejo de la geología de Magallanes (Figura 7-2), donde muestran los principales materiales del basamento rocoso.

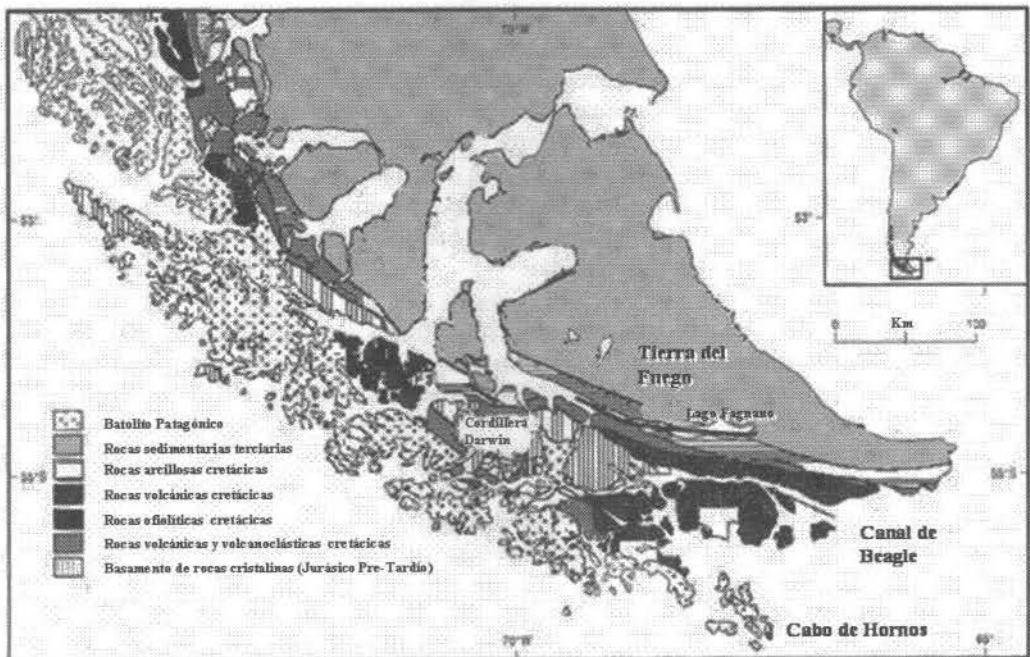


Figura 7-2. Geología generalizada de la zona (adaptada de Bentley y McCulloch, 2005).

Del estudio realizado por Díaz *et al.*, (1959-1960) en un reconocimiento de suelos generalizado de la Región, que abarcó 2.505.000 ha de un total de 13.542.000 ha, se pueden extraer algunos lineamientos geológicos generales. Estos autores (*op. cit.*) señalan que durante el Cretáceo Inferior, el mar invadió gradualmente el continente, aproximadamente desde el paralelo 43 hacia el sur, lo que trajo como consecuencia la formación de areniscas marinas, producto del lavado y redistribución de arenas cuarzosas. Posteriormente, durante el Terciario se inició un período de gran actividad volcánica, responsable de la formación de los macizos de El Paine y Balmaceda. Paralelamente se produjo un avance marino, dejando grandes depósitos de limos y arcillas y que se conoce como Transgresión Marina del Terciario Inferior. Al término del Terciario se produjo un nuevo período de actividad volcánica que cubrió extensas áreas con cenizas, lavas y pómez, sedimentos que, en muchos casos, fueron redistribuidos por los ríos.

Durante el Cuaternario, la zona fue cubierta por una considerable capa de hielo, responsable de una actividad erosiva de gran importancia que generó diversos canales, lagos y bahías que persisten hasta el presente. Esta actividad glacial dejó también como resultado un complejo sistema de morrenas que actuaron como diques, dando origen a la formación de grandes lagos glaciales cuyos sedimentos en forma de varves se encuentran en las márgenes del Estrecho de Magallanes. A fines del último período glacial, se produjo una activación del volcanismo extrusivo, cuyas consecuencias fueron la formación de extensos recubrimientos de lavas basálticas y cenizas en grandes áreas de la pampa.

Algunos antecedentes de Tierra del Fuego (Gerding y Thiers, 2002), en particular de la precordillera oriental o subandina oriental, señalan que se trata de una zona mesetiforme con cordones montañosos de baja altura, cuyas cumbres raramente superan los 1.200 m. Hay un profundo labrado de los valles por efecto de los hielos cuaternarios y fenómenos postglaciales. Los valles están rellenos con depósitos glaciales, fluvio-glaciales, fluviales y lacustres. El sustrato geológico de este sector está formado por depósitos marinos del Terciario en el sector de Río Bueno y del Cretáceo en el sector de Río Cóndor, además de extensos depósitos de cenizas volcánicas.

En el sector de Puerto Edén, Calderón *et al.* (2007) describen una sucesión de esquistos, gneisses, migmatitas y granitoides-biotita y granitoides biotita-hornblenda del Complejo Ígneo y Metamórfico Puerto Edén, perteneciente al batolito Patagónico Sur. Los autores atribuyen estas formaciones al Jurásico tardío.

Díaz *et al.* (1959-1960) observaron una estrecha coincidencia entre la distribución de los distintos Grandes Grupos de Suelos y los sistemas de morrenas que se han descrito como depósitos de los avances glaciales del Cuaternario. Así, el sustrato de los Suelos Castaños está muy meteorizado y, en parte, disgregado. En los suelos de Podzol el sustrato es una masa arcillosa compacta, conocida localmente como *masacote* y que los autores hacen responsable de la presencia de turberas en la zona. Otra característica que es común a todos los suelos de la Región es la presencia de cenizas volcánicas en distintas cantidades y a diferentes profundidades.

7.2 Regímenes de Humedad y Temperatura de los suelos

Tomando como base el análisis climático realizado por IREN (1967), en la Zona se han diferenciado cinco tipos de áreas climáticas. Considerando que no existen datos de humedad y temperatura de los suelos, se intentará hacer una aproximación a los regímenes de humedad y temperatura que los suelos podrían poseer.

En el extremo norte de la Zona se ha identificado el clima Templado Frío de Gran Humedad, que no solo afecta la parte insular sino también a gran parte de las áreas continentales. Esta clase de clima se prolonga hacia el sur como una cuña que se introduce en el Clima de Tundra. Desde el Océano Pacífico y hacia el este, cubriendo de preferencia el territorio insular, se identifica un clima de Tundra Isotérmico. Desde el punto de vista edáfico, ambos tipos de climas se podrían asimilar a un régimen de humedad údico, a causa de la distribución uniforme y abundante de las precipitaciones a través del año, de tal forma que se asume que la sección de control de los suelos no está seca por tanto tiempo como 90 días acumulativos en años normales. En cuanto al régimen de temperatura, se estima que el régimen crítico podría ser el más próximo a las condiciones reales, pues por definición la TMS es inferior a 8°C y no hay permafrost. Al menos en ninguno de los suelos descritos ha habido evidencia de involución de horizontes por congelamiento – descongelamiento.

El clima denominado Transandino con Degeneración Esteparia, corresponde a una faja de dirección NW – SE a partir del paralelo 51° LS, que atraviesa las ciudades de Punta Arenas y Porvenir. A causa de la disminución del promedio anual de las precipitaciones, pero con una media del verano superior a la media del invierno, el régimen de humedad de los suelos se corresponde bien con el régimen ústico. El régimen de temperatura se considera frígido debido a que la TMS es inferior a 8°C y la TMV – TMI es superior a 6°C.

Más hacia el este, se ha descrito el clima de Estepa Frío, cuyas características principales son las de ser seco con una temporada húmeda corta. Los parámetros de precipitación y temperatura son similares a los del tramo anterior, por lo que se ajusta bien a un régimen de humedad ústico y un régimen de temperatura frígido.

7.3 Suelos

Se trata de una Región que posee escasos estudios de suelos, la mayor parte de ellos de carácter generalizado y que solamente abarcan determinados sectores. Se estima que debieran considerarse sólo como de carácter exploratorio. Los estudios geológicos pueden ser más completos, sin embargo, ellos caen fuera del centro de atención de esta publicación, por lo que solamente se considerarán algunos elementos de carácter general.

Algunos de los estudios consultados (Díaz *et al.*, 1959-1960), establecen una diferenciación primaria entre los suelos minerales y los suelos orgánicos. Otros (IREN, 1967) han diferenciado los suelos en función de *zonas fitoclimáticas* y a nivel de Asociaciones de Suelos. Otros (CNR, 1997) han realizado un reconocimiento por Provincias y dentro de ellas han establecido Sectores de suelos asociados geográficamente, pero que no necesariamente presentan características semejantes. En

función de estos antecedentes, se hará una revisión y una descripción de los suelos con los elementos que se dispone. Varios de los conceptos e interpretaciones que provienen de estos estudios se analizan y se discuten a la luz de las nuevas ideas y principalmente de los nuevos conceptos taxonómicos, tratando de establecer, cada vez que sea posible, alguna correlación. Por lo tanto, para identificar a los suelos, será necesario utilizar una terminología que ya no está vigente, tratando de llegar a la mejor aproximación posible con la terminología actual. De manera arbitraria se seguirá el ordenamiento del estudio de la Comisión Nacional de Riego (CNR, 1997) por considerar que se puede asociar en mejor forma con los regímenes de humedad y temperatura de los suelos.

7.3.1 Suelos de la Provincia de Última Esperanza

Este sector se asocia con un régimen de humedad ústico y un régimen de temperatura frígido. Los suelos descritos ocupan posiciones de terrazas aluviales con relieve plano a suavemente ondulado, cuyas pendientes más frecuentes son de 1 a 3% y 2 a 5%, y solamente algunas Fases de la Serie Última Esperanza se han descrito con pendientes de 5 a 8% y excepcionalmente de 8 a 15%. En algunos suelos el relieve es plano – cóncavo, cuyo efecto ha sido el de generar un drenaje pobre con un nivel freático que puede fluctuar entre los 50 y los 90 cm de profundidad. Además, en varios de estos suelos se han formado horizontes orgánicos en superficie (podría corresponder a un epipedón hístico) que puede llegar a 25 cm de espesor (Figura 7-3, al final del Capítulo).

El sustrato de los suelos es variable, aun cuando ocupan posiciones similares en el paisaje. De esta manera, se han descrito sustratos de gravas redondeadas con arena intersticial, arenisca compactada, arcilla compactada y cementada y un material glaciolacustre compactado, muy duro, de textura arcillosa o arcillo limosa, con un cierto grado de agrietamiento denominado localmente como *masacote*.

El color de los horizontes superficiales varía entre el pardo oscuro (7.5YR3/2) hasta el negro (5YR – 10YR2/1), estos últimos generalmente asociados a la presencia de un horizonte orgánico superficial. En los horizontes más profundos son frecuentes los colores gris (5Y5/1) y gris oliva (5Y4/2), asociados a suelos con niveles freáticos altos, de drenaje pobre a muy pobre. La clase textural de los horizontes superficiales varía entre franco arcillo limosa y franco limosa y sólo en algunos suelos se hace ligeramente más gruesa, esto es, franco arenosa fina. En cambio, en los horizontes más profundos no existe una tendencia definida, pues se han descrito variadas clases texturales, tales como arcillosa, arcillo limosa, franco limosa, franco arenosa hasta arenosa muy fina. La estructura se mantiene de bloques subangulares a través de los perfiles y en los horizontes más profundos alcanza un grado de no estructura, maciza.

Varios suelos se han descrito como profundos y muy profundos (100 hasta 130 cm); los suelos con profundidad limitada (delgados, de 25 a 50 cm, y ligeramente profundos, de 50 a 75 cm) corresponden a suelos con nivel freático alto o bien, su profundidad quedó definida por la presencia de sedimentos fluvio-glaciales parcialmente cementados. Se considera que la cantidad y distribución del sistema radical en el perfil puede ser poco significativo, considerando que la cubierta vegetal en general es escasa. Hacia los horizontes inferiores las raíces se describen como escasas o inexistentes y, solamente en

aquellos suelos que poseen un horizonte orgánico de gran potencia (alrededor de los 40 cm de espesor) las raíces finas son abundantes en el subsuelo.

El drenaje es imperfecto a pobre en todas las Fases de los suelos descritos. Escapan a esta situación las Fases de las Series Última Esperanza y Tres Pasos, cuyas pendientes varían de 5 a 8% y de 8 a 15%. Algunas Series, tal como la Serie Las Chinas, presentan un alto contenido de Na, con una RAS de 59 y 76 para los horizontes de 0 a 20 cm y de 20 a 50 cm respectivamente (Cuadro 7-1). Además presenta carbonatos en niveles que no superan 3,5%. Las Clases de Capacidad de Uso asignadas a los suelos están en función de la Clase de drenaje, la profundidad y la pendiente, variando desde III hasta VII, siendo la Clase V la más frecuente en varias Series.

Cuadro 7-1. Algunas propiedades de la Serie Las Chinas, Fase fuertemente salina y alcalina. (Comisión Nacional de Riego, 1997)

| Profundidad (cm) | | 0 - 20 | 20 - 50 |
|---|------------------|--------|---------|
| pH _{agua} 1:1 | | 9,25 | 9,39 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | | 7,8 | 10,8 |
| CaCO ₃ (%) | | 3,4 | 2,7 |
| Saturación de agua (%) | | 118,0 | 149,0 |
| Cationes solubles (mmol _c L ⁻¹) | Ca | 3,2 | 3,5 |
| | Mg | 1,4 | 1,7 |
| | K | 0,2 | 0,2 |
| | Na | 89,1 | 123,2 |
| Aniones solubles (mmol _c L ⁻¹) | CO ₃ | 0,0 | 0,0 |
| | HCO ₃ | 4,8 | 4,0 |
| | Cl | 34,0 | 51,8 |
| | SO ₄ | 53,0 | 74,0 |
| | RAS | 59,1 | 76,8 |

Según Díaz *et al.* (1959-1960) en este sector se presentan los denominados Suelos Castaños, los Suelos Pradera-Planosol y más hacia el oeste, en los sectores insulares, los denominados Podzol-Pradera Alpina. Los Suelos Castaños se presentan bien estructurados, con un incremento en el contenido de arcilla hacia el horizonte B. De acuerdo a las descripciones de perfiles que caracterizan a algunas Series, se podrían asimilar al concepto de Inceptisol y más precisamente a Dystrustept, asumiendo una SB inferior a 60% y sin carbonatos. Aquellos suelos descritos con carbonatos caerían mejor en el concepto de Haplustept. La mayoría de los suelos aparentemente se han desarrollado a partir de sedimentos glaciales y, solamente en un caso, se identificó como desarrollado a partir de cenizas volcánicas.

Los Suelos Pradera-Planosol varían de moderadamente profundos a profundos, con un incremento de la fracción fina hacia los horizontes subsuperficiales, de tal forma que en los epipedones son frecuentes las clases texturales franco arenosa y franco arenosa fina, en cambio en los horizontes B dominan las clases texturales franco arcillo limosa, franco arcillosa hasta arcillo limosa. Se podría estimar que se trata de un grupo de suelos que han evidenciado un mayor grado de evolución pedogénica que los suelos anteriores, como sería el caso de la Serie Calafate, en cuyo perfil se describieron *serosidades*, que podrían asimilarse al concepto de los cutanes actuales. De acuerdo a las correlaciones aceptadas internacionalmente, un Planosol tendría su equivalente en un Alfisol o un Ultisol de la US Soil Taxonomy, dependiendo de la mayor o menor SB a 180 cm de profundidad, respectivamente. Es más aceptable que la mejor correlación sea con un Ultisol, considerando que la SB podría ser baja. Una característica común a

todos ellos es el color del horizonte superficial que varía desde el negro (10YR2/1) hasta el gris muy oscuro (10YR3/1) cuyo origen estaría en el mayor contenido de materia orgánica (se ha descrito como *colchón de raíces*). Además tienen en común un aumento del valor y el croma (Munsell) hacia los horizontes inferiores, de tal manera que son comunes los colores pardo muy pálido (10YR7/4), pardo amarillento claro (10YR6/4) y pardo oliva claro (2.5Y5/4). El sustrato común a todos estos suelos lo constituyen materiales de origen glacial, mezclados con rocas graníticas y arcilla glacial con cantidades variables de gravas. La mayoría de estos suelos se presentan en posición de lomajes suaves de 3 a 5% y de 5 a 7% de pendiente.

Finalmente, los suelos de Praderas Alpinas son suelos delgados, de menos de 50 cm de profundidad, que se han descrito sobre pizarras o sobre sedimentos glaciales mezclados. Dominan los colores pardo rojizo oscuro (5YR3/4) en los horizontes superficiales y pardo amarillento (10YR5/8) en los horizontes subsuperficiales. Las clases texturales son finas y moderadamente finas en los horizontes subsuperficiales, esto es franco limosa, arcillo arenosa y arcillosa; en cambio, en los horizontes superficiales suele haber una cubierta de materiales más gruesos, que han sido calificados como arena fina. Ocupan un paisaje de lomajes ondulados suaves, con pendientes de 2 a 3% y hasta 5%. A causa de los limitados datos que se dispone para estos suelos, es prácticamente imposible establecer una correlación taxonómica con Órdenes de la Taxonomía (Soil Survey Staff, 2006).

7.3.2 Suelos de la Provincia de Magallanes

En esencia existe una dominancia del régimen de humedad ústico y un régimen de temperatura frígido. No se descarta que puedan existir sectores más secos hacia el este, pero siempre como ústicos, o más húmedos hacia el oeste, que podrían caer en el concepto de údico.

Los suelos se encuentran ocupando posiciones de terrazas medias y altas, con pendientes que varían de 1 a 3% hasta 5 a 8%. También se ubican en áreas suavemente onduladas, con pendientes de hasta 5 a 8% y solamente algunos suelos ocupan posiciones deprimidas del paisaje con pendientes de 0 a 1%. Se trata de áreas que han sufrido diversos procesos de modelamiento del paisaje, por lo cual los sustratos de los suelos son variados, tales como sedimentos glaciales y fluvio-glaciales, gravas redondeadas frescas y meteorizadas con matriz arenosa y el ya mencionado *masacote* (Figura 7-4, al final del Capítulo). Los colores parecen seguir un patrón más constante, de tal forma que en los horizontes superficiales dominan los colores pardo rojizo oscuro en los matices 5YR y 7.5YR, e incluso cuando el color es negro cae en un matiz 5YR. En igual forma, hacia los horizontes más profundos dominan los colores asociados a procesos de reducción, tales como gris oliva (2.5Y4/4, 5Y5/2), gris azulado (5B5/1) y gris verdoso (5G5/1). Cabe hacer notar que no siempre estos colores están asociados a condiciones de drenaje pobre, por lo cual se podría asumir que, en algunos casos, los colores provienen de los materiales de origen de los suelos.

Las clases texturales de los horizontes superficiales varían sólo entre franco limosa y franco arenosa muy fina; en cambio en los horizontes más profundos, en contacto con el sustrato cuando este se hace visible, las clases texturales son muy variadas, esto es arcillosa, arcillo arenosa, franco arcillo limosa, franco arcillo arenosa, franco arenosa fina y arena francosa. Es probable que esta dispersión granulométrica se encuentre

relacionada con la gran variabilidad de sustratos que se han descrito para estos suelos. La mayoría de los suelos de esta área se han descrito con abundantes gravas en el perfil. La estructura dominante a través de los perfiles es de bloques subangulares, que se hace maciza en los horizontes más profundos. En aquellos suelos que presentan un horizonte superficial orgánico se ha descrito una estructura granular. La profundidad hasta el sustrato es variable entre 60 y 120 cm. El drenaje está relacionado con la posición que los suelos ocupan en el paisaje, de tal forma que los suelos con drenaje pobre y muy pobre están asociados a suelos planos o casi planos, con Clases de Capacidad de Uso IV, V y VI. Aquellos suelos en posiciones suavemente onduladas presentan buen drenaje, con Clases III y IV. Cabe señalar que en este sector se ha descrito la Serie Tehuelche, que presenta Fases salino – alcalina (Cuadro 7-2).

Cuadro 7-2. Algunas propiedades de la Serie Tehuelche, Fase salina y alcalina. (CNR, 1997)

| Profundidad (cm) | | 0 - 20 | 20 - 40 |
|---|------------------|--------|---------|
| pH _{agua} 1:1 | | 8,03 | 8,09 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | | 11,7 | 10,9 |
| CaCO ₃ (%) | | 11,0 | 9,6 |
| Saturación de agua (%) | | 90,0 | 71,0 |
| Cationes solubles (mmol _c L ⁻¹) | Ca | 17,4 | 15,3 |
| | Mg | 11,1 | 9,3 |
| | K | 5,5 | 4,7 |
| | Na | 123,6 | 105,5 |
| Aniones solubles (mmol _c L ⁻¹) | HCO ₃ | 5,4 | 4,4 |
| | Cl | 95,8 | 95,0 |
| | SO ₄ | 48,0 | 37,0 |
| | RAS | 32,7 | 30,1 |

De acuerdo con Díaz *et al.* (1959-1960) dominarían los suelos Pradera-Pradera Planosol, que se caracterizan por ser moderadamente profundos a delgados, en general sobre sedimentos glaciales mezclados. Su posición corroboraría la presencia de colores asociados a procesos de reducción, pues la mayoría de ellos ocupan sectores planos o casi planos entre morrenas, con pendientes máximas de 2 a 3%. Se estima que su origen se encuentra en sedimentos glaciales mezclados, en algunos casos con gravas graníticas y basálticas. Hacia el oeste se ha descrito una franja de orientación NW – SE en la cual se encontrarían bien representados los Podzoles.

Los suelos Podzol propiamente tal se caracterizan por presentar un perfil cuyo horizonte superficial está constituido por una turba o por una capa muy rica en raíces y materia orgánica, normalmente de color negro (10YR2/1). Le sigue un horizonte mineral franco arenoso fino, franco limoso o incluso arenoso de color gris claro (2.5Y7/1) o gris (10YR 6/1), para terminar en un horizonte franco limoso o franco arcillo limoso de color pardo fuerte (7.5YR5/6) o franco limoso de color pardo amarillento (10YR5/4). Los suelos se han descrito como moderadamente profundos a delgados, sobre un sustrato de sedimentos glaciales con gravas y piedras o bien un esquisto cretácico (Figura 7-5, al final del Capítulo). Ocupan una posición de lomajes en antiguas morrenas laterales. El concepto de Podzol estaba sustentado en la presencia de un horizonte de eluviación (A₂ - E) el cual aparentemente coincide con el segundo horizonte de colores grises, descrito para estos suelos. En el Cuadro 7-3, se incluye algunas propiedades de un suelo identificado como tal.

Cuadro 7-3. Suelo Podzol. Punta Arenas (Díaz *et al.*, 1959-1960)

| Profundidad (cm) | 0 - 2 | 2 - 6 | 6 - 10 | 10 - 15 | 15 + | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| | A _o | A ₂ | B ₂ | C ₁ | C ₂ | |
| | 2-1 | -- | 0,8 | 3,0 | 4,2 | 5,1 |
| | 1-0,5 | -- | 2,6 | 5,0 | 7,6 | 7,4 |
| Distribución | 0,5-0,25 | -- | 4,3 | 4,5 | 8,6 | 7,8 |
| partículas | 0,25-0,10 | -- | 16,3 | 11,2 | 21,2 | 20,8 |
| por tamaño | 0,10-0,05 | -- | 20,7 | 15,6 | 23,1 | 21,5 |
| (%) | 2-0,05 | -- | 44,7 | 39,3 | 64,7 | 62,6 |
| | 0,05-0,002 | -- | 47,0 | 38,5 | 31,2 | 30,3 |
| | < 0,002 | -- | 8,3 | 22,2 | 4,1 | 7,1 |
| Clase textural | | F | F | Fa | Fa | |
| Carbono orgánico (%) | -- | 0,73 | 4,45 | 0,97 | 0,44 | |
| pH _{agua} | 5,8 | 4,9 | 4,6 | 5,0 | 5,2 | |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 8,6 | 1,7 | 2,1 | 0,3 | 0,5 |
| | Mg | 2,5 | 0,6 | 1,1 | 0,1 | 0,2 |
| | K | 1,0 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 |
| | Na | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 0,1 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 12,4 | 2,7 | 3,9 | 0,8 | 1,0 | |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 33,6 | 9,3 | 47,5 | 21,0 | 15,9 | |
| Saturación de bases (%) | 37,0 | 29,0 | 8,0 | 4,0 | 6,0 | |

Sin embargo, el concepto actual de Spodosol (Soil Survey Staff, 2006) se basa en la presencia de un horizonte de iluviación (B_{hs}) el cual no estaría claramente identificado en las descripciones mencionadas. Cabe señalar al respecto, que existen variadas publicaciones que señalan la presencia de Spodosols a partir de la Región de Aysén hacia el sur, basándose en la presencia de un horizonte de color gris o de alto valor (Munsell), desconociendo que toda la Zona ha estado sometida a intensas y repetidas sedimentaciones de tefras ricas en sílice que han dejado su huella como una capa de color gris (e incluso blanco) en numerosos suelos de estas regiones. Díaz *et al.*, (1959-1960) han identificado a las Series Loreto y Arka-Aloe como pertenecientes a este grupo. Gerding y Thiers, (2002) en el sector de Río Bueno en Tierra del Fuego, identificaron suelos que podrían incluirse en este grupo. De esta manera, describen un horizonte superficial constituido por mantillo de 2 a 20 cm de espesor y bajo él una secuencia de horizontes de dos clases: A-B-C y E-2B_{hs}-C. Estos autores (*op.cit*) estiman que se trata de suelos jóvenes, delgados a muy delgados, influenciados por actividad volcánica, topografía y clima, de pH entre 4 y 5,5 con una alta saturación con Al (>60%). Debajo del mantillo existe un horizonte blanco (10YR5/1) de clase textural franco limosa y sin estructura (masiva). En la formación de este horizonte habrían influido la depositación de cenizas volcánicas sin descartar en forma definitiva los procesos de podzolización.

7.3.3 Suelos de la Provincia de Tierra del Fuego

La mayoría de los suelos descritos para esta área se encuentran en posición de terrazas aluviales a diferentes alturas (bajas, medias y altas), pero todas ellas con pendientes máximas entre 1 y 3%. Aun cuando los sustratos más comunes corresponden a materiales aluviales, tales como gravas redondeadas con matriz arenosa, también son

frecuentes los sustratos de origen fluvio-glacial, asociados en algunos casos con *mazacote*. El color de los horizontes superficiales mantiene una cierta uniformidad, ya que varía entre negro y pardo rojizo oscuro en los matices 5YR y 2.5YR. En los horizontes más profundos nuevamente dominan los colores provenientes de procesos de reducción, esto es el oliva pálido (5Y6/4), gris verdoso (5GY5/1) y el gris azulado (5B 5/1). Las clases texturales de los epipedones varían entre franco limosa y franco arenosa fina, con dos tendencias a variar en profundidad, de acuerdo a los suelos descritos. Un grupo de suelos presenta horizontes subsuperficiales de clase textural franco arcillo arenosa y arcillosa y en otro grupo las clases texturales son gruesas, arenosa y arena francosa. La estructura presenta la misma tendencia que en los grupos de suelos anteriores, es decir, de bloques subangulares en superficie a maciza hacia los horizontes subsuperficiales. La profundidad al sustrato es variable, pues se han descrito suelos de 45 cm sobre un sustrato fluvio-glacial, hasta otros con un *solum* de hasta 120 cm.

Con relación al drenaje, dominan los suelos con drenaje imperfecto a pobre, propiedad que ha definido la mayor parte de las Clases de Capacidad de Uso. De esta manera, las Clases más frecuentes son IV, V y VI.

Según Díaz *et al.* (1959-1960) existen grandes extensiones de los suelos denominados Pradera-Pradera Planosol, los que se caracterizan, entre otras cosas, por presentar un incremento del contenido de la fracción fina hacia los horizontes subsuperficiales, de tal manera que son comunes las clases texturales franco arcillosa, franco limosa y franco arcillo limosa. Se podría asumir que aquellos suelos que presentan claramente un incremento de la fracción fina hacia un horizonte B, se podrían asimilar al concepto de Inceptisol y más precisamente Dystrustept, en cambio aquellos de clases texturales gruesas a través de todo el perfil se deberían considerar más bien dentro del concepto de Entisol, probablemente Cryorthent.

De acuerdo a los autores consultados, en Tierra del Fuego continúa la presencia de suelos con características de Podzols que, según Díaz *et al.* (1959-1960) se diferenciarían en cinco subgrupos: Podzol propiamente tal, Podzol de Agua Subterránea, Pardo Podzólico, de Pradera Alpina y Gris de Bosque.

En el sector de Río Córdor, la secuencia de horizontes es la misma que para los suelos de Río Bueno, incluso en los suelos de las terrazas marinas, aun cuando son más delgados (entre 5 y 48 cm) que en Río Bueno. En cuanto al horizonte E, que sería comparable al horizonte C, mantiene las características de color blanco, clase textural franco limosa, masivo, con escasa pedregosidad y pocas raíces, alta acidez, alto contenido de aluminio y bajo contenido en nutrientes. Según varios autores citados por Gerding y Thiers (2002), el horizonte E sería la respuesta a procesos de podzolización. Otros plantean que su origen se encontraría en la depositación de cenizas volcánicas en combinación con procesos de podzolización. Según estos autores (*op.cit.*) las relaciones para C, N, Na, Al, Fe y Cu entre los horizontes B y A es mayor para suelos con horizonte E que para aquellos que no lo tienen, por lo tanto, indicaría una mayor eluviación de elementos desde el horizonte E y una acumulación en el horizonte subyacente B_h (Figura 7-6, al final del Capítulo). Sin embargo, el horizonte E tiene un alto contenido de arcillas que no sería típico de un horizonte de eluviación, lo cual estaría a favor de la hipótesis de una depositación de tefras, además que aparece como un material de diferente origen, con textura y estructura uniforme, sin pedregosidad y preferentemente en terrenos de menor elevación, más frecuentemente bajo bosque que

bajo estepa y con una orientación preferentemente norte. Éstas podrían ser las razones que refuerzan la hipótesis de un origen volcánico. Al respecto, hay varios antecedentes de depósitos de tefras provenientes de los volcanes Burney, Reclus y del volcán Cook en la isla Gordon (Figura 7-7).

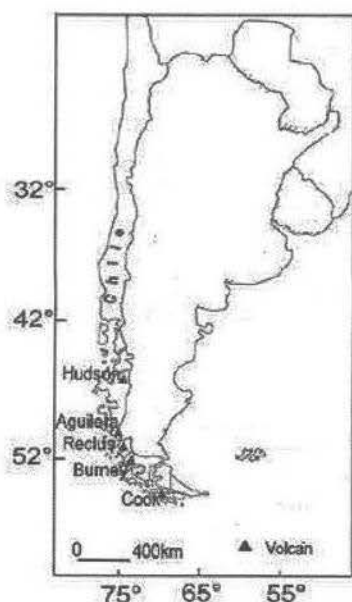


Figura 7-7. Volcanes más importantes en la zona.

El viento y la geomorfología ayudarían a que se produjeran depósitos de cenizas volcánicas y sedimentación de materiales finos provenientes desde otros sitios. Las cenizas se habrían acumulado en las lomas abrigadas de los vientos dominantes, que serían las de exposición preferentemente norte. Así, las secuencias más frecuentes de horizontes son O-E-2B_{hs} -C; o bien O-A-B-C y O-A-B_{hs} -C. Según los autores (*op. cit.*) dominarían Spodosols e Inceptisols. En los sectores cóncavos del paisaje dominarían los Aquods y donde no existen problemas de drenaje, los Cryods. Los suelos restantes corresponderían a Cryepts. En el Cuadro 7-4 se describen algunas propiedades químicas y físicas de un suelo de Tierra del Fuego.

Cuadro 7-4. Propiedades de un perfil del sitio 14. Río Bueno y Vicuña (Gerding y Thiers, 2002)

| Profundidad (cm) | 5 - 0 | 0 - 5 | 5 - 15 | 15 - 34 | |
|--|--------------------------------|-------|------------------|---------|------|
| | O _e /O _a | E | 2B _{bs} | BC | |
| Carbono orgánico (%) | 20,8 | 2,1 | 11,8 | 13,5 | |
| pH _{agua} | 5,02 | 4,66 | 4,69 | 4,95 | |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 2,44 | 2,94 | 0,63 | 0,29 |
| | Mg | 4,88 | 0,96 | 0,53 | 0,13 |
| | K | 0,94 | 0,39 | 0,26 | 0,08 |
| | Na | 0,30 | 0,10 | 0,13 | 0,10 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 8,56 | 4,40 | 1,55 | 0,61 | |
| N % | 0,9 | 0,12 | 0,07 | 0,46 | |
| Al por KCl | 0,69 | 2,64 | 9,04 | 4,09 | |
| Saturación de Al (%) | 7,4 | 37,6 | 85,4 | 87,0 | |

7.3.4 Suelos orgánicos

El conocimiento de los suelos orgánicos es más limitado que el que se tiene de los suelos minerales para la Zona, pues son pocos los trabajos de reconocimiento e identificación de estos ecosistemas. Los escasos trabajos que existen se han concentrado en la descripción e identificación de las especies vegetales que componen cada sistema, pero no de los suelos en los cuales se encuentran dichas especies.

Según Clausen *et al.* (2006) existirían nueve *tipos mayores de humedales* en la Patagonia, considerándolos únicos para América del Sur, principalmente en función de las especies vegetales que dominan en cada humedal. Para los objetivos de este libro se tomarán como ejemplo aquellos que se consideran como más próximos al concepto de suelos orgánicos. De esta manera, uno de estos humedales es descrito como *Carex-Notophagus*, el que se encuentra principalmente en depresiones dentro de morrenas glaciales y con pendientes que pueden alcanzar 28% en laderas de colinas. Un segundo tipo corresponde a las denominadas *Turbas*, descritas en las cercanías del Lago Grey y corresponden al concepto de pantano, ciénaga o marjal cuya vegetación dominante corresponde a *Sphagnum magellanicum*. El tercer tipo de humedal, considerado por los autores como el más importante de la zona, se denomina *Vega*, ya descrita por otros investigadores. Se consideran como depresiones frecuentes del sustrato, debido a procesos glaciales que han originado un horizonte impermeable (de arcilla) muy próximo a la superficie. Generalmente se les considera más como praderas húmedas que como humedales, debido a que constituyen un habitat esencial para el guanaco (*Lama guanicoe*) en la época de primavera - verano. Se encuentran paisajes de tipo cóncavo con pendientes suaves, de menos de 1%. Para Filipová *et al.* (2008) las *Vegas* son sistemas altamente productivos en estas zonas semi-áridas, pues sostienen la ganadería local, focalizada en la crianza de ovejas. El pH es más alto en el caso de los Fluvisols debido a su material parental que, en la mayoría de los casos, está constituido por sedimentos calcáreos. Procesos similares se presentan cuando se drenan los Histosols debido a que los horizontes orgánicos se cementan por las sales que precipitan. Los Grupos de Referencia de Suelos (WRB) más frecuentes encontrados en la zona son los Histosols y los Fluvisols. Éstos se podrían correlacionar de acuerdo a Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2006) con Histosols en el caso de los suelos orgánicos y con los

Órdenes Entisols (Fluvents) e Inceptisols, y subgrupos Fluventic y Fluvaquentic, para el caso de los suelos minerales de escaso desarrollo de perfil. Filipová *et al.* (2008) concluyen que existen variaciones considerables en las propiedades de los suelos, tanto entre Grupos de Referencia como dentro de cada uno de ellos.



Figura 7-1. Paisaje que muestra un sector de la Cordillera Magallánica, constituida por un batolito granítico como basamento cristalino, además de rocas efusivas de diferentes edades. Este macizo se eleva a alturas máximas que sobrepasan los 3.000 msnm.



Figura 7-3. En toda la Zona Edáfica existen suelos con relieve plano – cóncavo, cuyo efecto ha sido el de generar un drenaje pobre con un nivel freático que puede fluctuar entre los 50 y los 90 cm de profundidad. Además, en varios de estos suelos se han formado horizontes orgánicos en superficie, el cual podría corresponder a un epipedón hístico, que puede llegar a 25 cm de espesor.



Figura 7-4. Suelos en posiciones de terrazas con pendientes que varían de 1 a 3% hasta 5 a 8%. En algunos casos ocupan posiciones deprimidas del paisaje, con pendientes de 0 a 1%. Se trata de áreas que han sufrido diversos procesos de modelamiento del paisaje, por lo cual los sustratos de los suelos son variados, tales como sedimentos glaciales y fluvio-glaciales, gravas redondeadas frescas y meteorizadas con matriz arenosa y *mazacote*.



Figura 7-5. Perfil que identifica a la clase de suelos Podzoles. Se han descrito con un horizonte superficial constituido por una turba o bien por una capa muy rica en raíces y materia orgánica, normalmente de color negro (10YR2/1). Le sigue un horizonte mineral franco arenoso fino, franco limoso o incluso arenoso de color gris claro (2.5Y7/1) o gris (10YR6/1), para terminar en un horizonte franco limoso o franco arcillo limoso de color pardo fuerte (7.5YR5/6) o franco limoso de color pardo amarillento (10YR5/4).

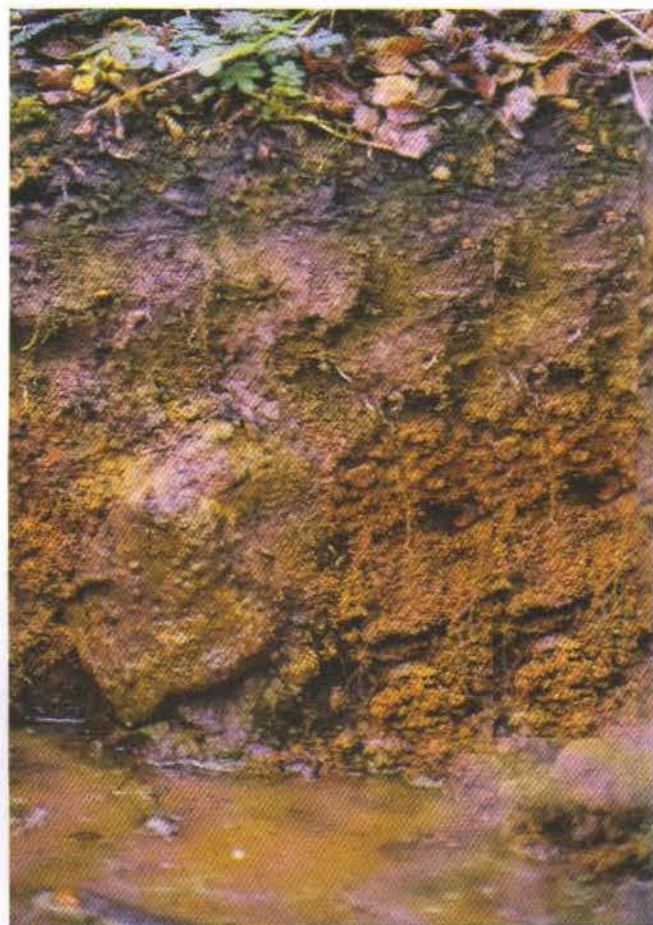


Figura 7-6. El horizonte E podría ser la respuesta a procesos de podzolización, o bien su origen se encontraría en la depositación de cenizas volcánicas en combinación con procesos de podzolización. El elevado contenido de arcilla en el horizonte E no sería característico de un horizonte de eluviación, lo cual estaría a favor de la hipótesis de una depositación de tefras que podrían haber sufrido procesos de extracción de componentes (Foto W. Vera).

CAPÍTULO 8

Suelos de la Zona Antártica (Entre 59°W y 61°W hasta 62°S y 63°S)



Luzio, W., Casanova, M., Seguel, O. 2009. Suelos de la Zona Antártica (Entre 59°W y 61°W hasta 62°S hasta 63°S). pp: 307- 322. *In:* Suelos de Chile. (Luzio, W., Editor). Universidad de Chile.

8.1 Antecedentes generales

Según Vaughan y Spouge (2002) en la Antártica se podrían diferenciar dos áreas principales, separadas por las Montañas Transantárticas (Figura 8-1). La del lado Este, constituye una capa de hielo que descansa sobre un manto sólido que podría quedar sobre el nivel del mar si el hielo fuera removido. La parte Oeste, en cambio, constituye un denominado *casquete marino* que se ubica sobre la corteza terrestre muy por debajo del nivel del mar.

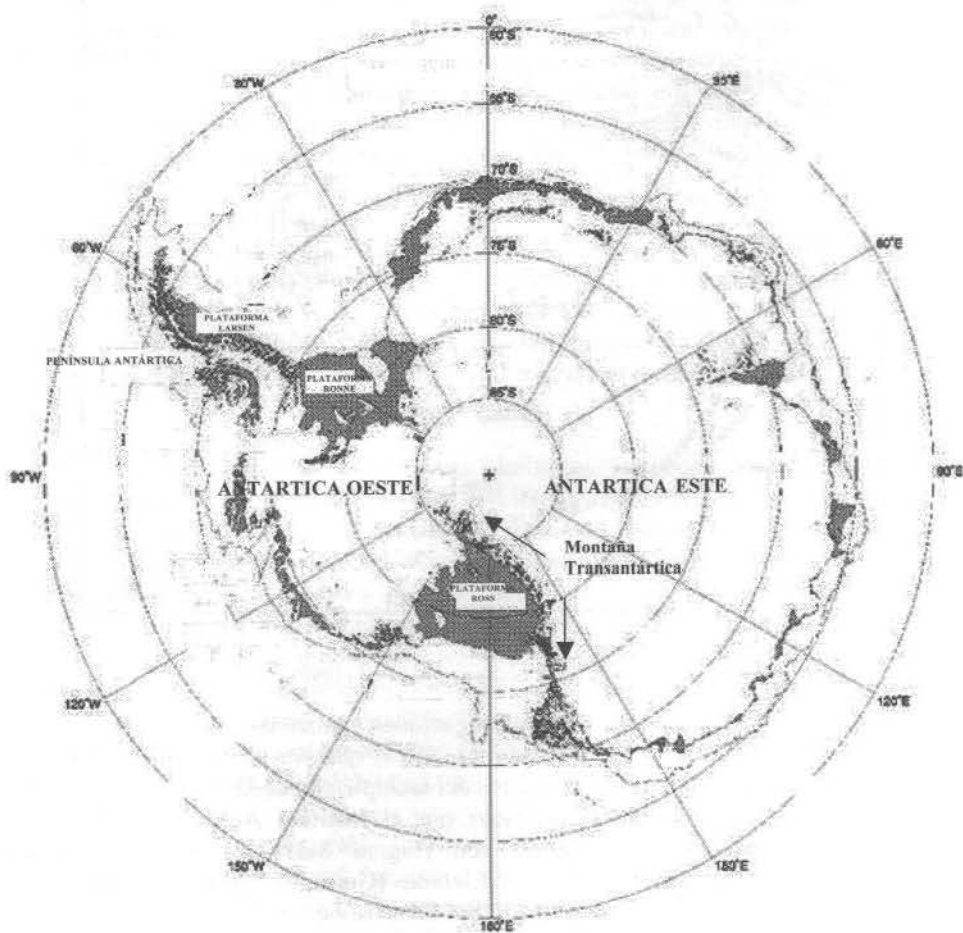


Figura 8-1. Geomorfología general de la Antártica (Vaughan y Spouge, 2002).

Bockheim y Ugolini (1990) definen 4 *macro-zonas pedológicas* en la Región Circumpolar Sur (Figura 8-2): la zona de Bosque Subantártico (S), la Tundra Subantártica (T), el Desierto Polar Antártico (P) y el Desierto Polar Frío (C).

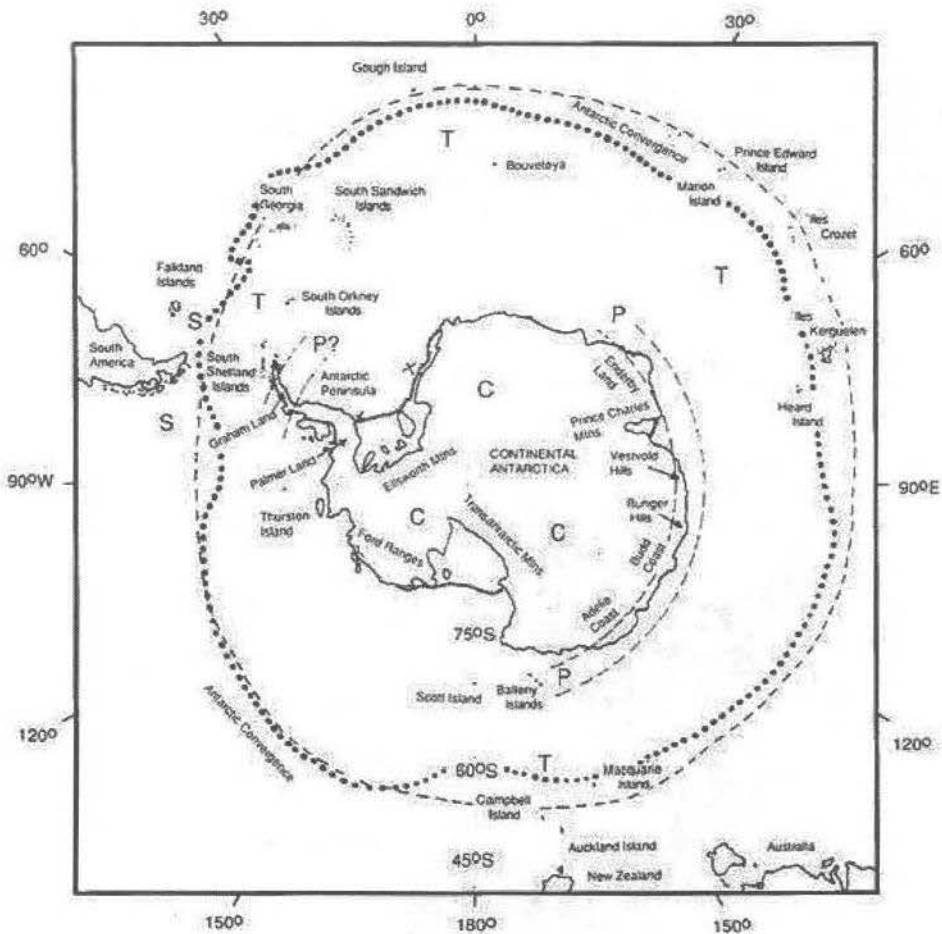


Figura 8-2. Zonas pedológicas definidas por Bockheim y Ugolini (1990).

En este Capítulo se consignan las investigaciones realizadas por diversos autores (Haberland, 1992; Álvarez, 1993; Henríquez, 1994) quienes efectuaron campañas de terreno para reconocer algunos de los suelos del archipiélago de las Shetland del Sur, en el marco de las investigaciones realizadas por el Instituto Antártico Chileno. Las principales islas de este archipiélago son (Figura 8-3) Decepción, Livingston, Greenwich, Robert, Nelson, Rey Jorge y Elefante (González-Ferrán y Katsui, 1970). Los reconocimientos se concentraron en las Islas Robert y Livingston, además de algunas observaciones en la isla Rey Jorge.



Figura 8-3. Islas principales del Archipiélago Shetland del Sur.

La Formación Coppermine de la Isla Robert, que constituyó uno de los sitios de estudio, está formada por una estratificación de lavas y piroclastos correspondiente al volcanismo Cenozoico de la región (Hervé y Araya, 1965). Las coladas de lavas son del tipo *aa* y su composición es basáltica y andesítico-basáltica, de estructura prismática imperfecta y color verde oscuro. En la angostura entre la caleta Coppermine y Bahía Carlota, los mismos autores han descrito rocas sedimentarias clásticas, de edad cuaternaria tanto de origen glacial como marino, con cristales de augita notorios y depositaciones de calcita. Los sedimentos glaciales se manifiestan por la presencia de morrenas y planicies de lavado (*outwash plains*). No se han descrito depósitos aluviales a pesar de los escurrimientos anuales que se producen en los períodos estivales, probablemente porque los procesos aún se encuentran en etapas erosivas y no de sedimentación. Los depósitos marinos se concentran en los sectores de playas, generalmente gravosas, en las cuales se han descrito algunos niveles de terrazas. La Isla se presenta como mesetas con alturas entre 30 y 40 msnm y excepcionalmente se eleva hasta 80 msnm.

El clima de la Isla Robert se considera periglacial, típico de la Antártica Marítima (Haberland, 1992). El promedio anual de las temperaturas es siempre inferior a 0°C, con una oscilación entre -1 y -5°C. Las precipitaciones ocurren durante todo el año, principalmente en forma de nieve, con algunas precipitaciones líquidas durante el verano. El monto anual varía entre 400 y 700 mm (Hervé y Araya, 1965; Luzio *et al.*, 1990).

Según Haberland (1992) las condiciones climáticas extremas, además de la escasa superficie descubierta de hielo no son elementos favorables para el desarrollo de especies vegetales, sin embargo, en algunos sectores existe un desarrollo vegetacional considerable. Esta vegetación terrestre está constituida esencialmente por plantas inferiores, tales como líquenes, musgos, algas, hongos y bacterias (Lamb, 1970; Covarrubias, 1965). Todas las plantas son perennes, de tal forma que, si existen las condiciones favorables, se desarrollan inmediatamente (Álvarez, 1993). Es posible que la vegetación que se ha descrito, asociada a los suelos en estudio, no se pueda considerar como un *verdadero* factor de formación, a causa de su escaso desarrollo en superficie y su escasa penetración en profundidad; más bien se podría considerar como un signo de relativa estabilidad del sustrato.

La Isla Livingston, el segundo sitio de investigación, está constituida por rocas sedimentarias y volcánicas del Jurásico Superior y Cretácico Inferior (Hobbs, 1968). También se han descrito sectores con rocas sedimentarias y volcánicas del período Tithoniano (Willan, 1992). Según González *et al.* (1970) existe una secuencia sedimentaria fosilífera en el sector noreste, cuya potencia mínima se estima en 500 m, además de la presencia de depósitos marinos y continentales.

Hacia el oriente, el relieve se hace montañoso, con alturas que pueden llegar hasta 1.790 m, casi permanentemente cubiertas con nieve y hielo. El sector central se presenta con forma de un domo o plataforma glacial con alturas entre 200 y 400 m. Hacia el sector occidental, que corresponde a la península Byers, el relieve es bajo, suave y aterrazado, con algunos promontorios de rocas ígneas (Henríquez, 1994). Esta misma autora (*op.cit.*) señala que en la Península Byers se pueden diferenciar varias unidades de paisaje, tales como plataformas a distintas alturas con relieves cónicos. El clima se caracteriza por una gran inestabilidad de las condiciones meteorológicas, bajas

temperaturas y precipitaciones en forma de nieve, entre 400 y 700 mm por año. La diversidad de flora y fauna es muy reducida y, al igual que en la Isla Robert, las especies se reducen a aquellas pertenecientes a musgos, líquenes, algas y hongos. Henríquez (1994) considera que la crioturbación es la mayor limitación para el crecimiento y el establecimiento de plantas.

8.2 Características generales de los suelos

Los suelos de la Antártica Marítima no se pueden considerar con características semejantes a los suelos de la Antártica Continental, principalmente a causa de las diferencias que existen en cuanto a régimen de precipitaciones (tanto sólidas como líquidas) y al régimen de temperaturas. Se asume que en los regímenes marítimos las combinaciones de precipitaciones y temperaturas medias y extremas son más favorables a la existencia de organismos (vegetación), con la consecuente mayor acumulación de MO y, por lo tanto, más favorable a la formación de *suelos* en el concepto que se tiene de su desarrollo en zonas extremas.

Se considera que el contenido de agua constituye un factor relevante en la formación y evolución de los suelos de la Antártica Marítima. La disponibilidad de agua para muchos suelos está relacionada con la variación climática estacional y que se logra expresar en algunos rasgos morfológicos de los perfiles, tales como gleización, arcilla translocada y algunos rasgos de superficie como polígonos y estriaciones producto de los procesos de crioturbación (figuras 8-4 y 8-5, al final del Capítulo). Tampoco se pueden dejar de lado los procesos de congelamiento y deshielo que constituyen agentes de meteorización del manto petrográfico e, incluso, de los suelos y que determinan procesos físicos y químicos pedogénicos únicos del planeta. Es posible considerar que los ciclos de congelamiento y deshielo puedan afectar la estructuración del suelo, generando un incremento en el agrietamiento y, consecuentemente, en la generación de agregados o bien en la dispersión de los ya existentes. Así, la formación de cristales de hielo puede generar dilataciones entre las partículas del suelo, de tal manera que constituirían procesos incipientes de formación de estructura. Para Hervé y Araya (1965) es poco probable que se originen minerales de arcilla a causa de las condiciones térmicas imperantes. Así, la fracción fina correspondería más bien al producto de una fina molienda de minerales y rocas. De esta forma, la dinámica de los materiales superficiales estaría muy influenciada por los procesos cíclicos continuos de congelamiento/deshielo y por la presencia de un permafrost a profundidades variables entre 40 y 70 cm (Vera, 1990).

Siguiendo a Campbell y Claridge (1987), es posible que los procesos pedogénicos se hayan desarrollado en forma más lenta que en otros sitios del planeta y sería la razón por la cual las diferencias entre el material parental y su suelo asociado serían sólo someras. Al considerar el concepto de *suelo* en su acepción tradicional, no sería posible excluir la influencia biológica, aun cuando ella se encuentre restringida a una débil cubierta de líquenes, musgos y algas que, evidentemente, no podría afectar más que los primeros centímetros del perfil (Figura 8-6, al final del Capítulo). Un caso que cae fuera de estas consideraciones corresponde a los suelos denominados *ornitogénicos*, originados a partir de la acumulación de guano de pingüinos, caracterizados por una elevada concentración de nutrientes que puede llegar a ser nociva para la mayoría de las especies vegetales terrestres (Ugolini, 1972). No se pueden descartar otras situaciones

donde este factor biótico no tiene una influencia decisiva y la formación del *suelo* se debe considerar más bien como el resultado de los procesos de meteorización del sustrato geológico. En estos últimos casos podría ser discutible si este material meteorizado corresponde al concepto de suelo en su acepción tradicional.

La mayoría de los autores han considerado que los suelos formados en la Antártica Marítima son poco profundos, de escaso desarrollo pedogénico, de clases texturales gruesas (Figura 8-7, al final del Capítulo) y con abundante pedregosidad tanto superficial como en el perfil (Vera, 1990; Luzio *et al.*, 1990). También se les ha señalado con reacción neutra a alcalina, baja actividad biológica y altos contenidos de sales solubles (Allen y Heal, 1970). Vera (1990) ha señalado que los suelos antárticos presentan un perfil A – C, con alto contenido de gravas en el perfil, sobre un contacto lítico o sobre un permafrost. Schuller *et al.* (1990) describieron suelos con hasta 78% de arcilla, aun cuando la mayoría son de clases texturales gruesas y con bajos contenidos de CO. Solamente en la carpeta de musgos el contenido de CO fue próximo al 5%. Luzio *et al.* (1990) informan de suelos con CIC de hasta 57 cmol, kg⁻¹, lo cual atribuyen a la presencia de zeolitas a través de los perfiles. En todo caso, para la mayoría de los autores, la formación de suelos estaría restringida a aquellos sectores que se encuentran libres de la cubierta de hielo, al menos durante la temporada estival, de tal manera que la circulación del agua líquida y las mayores temperaturas permitirían la acción de los procesos de formación de suelos.

8.3 Suelos Minerales

Para Navas *et al.* (2008) algunas propiedades de los suelos, tales como pH, CE, carbonatos y MO, medidas en suelos con diferentes sustratos litológicos en las Shetland del Sur, muestran patrones similares. Las mayores diferencias observadas en los perfiles de suelo estuvieron en la distribución de tamaño de los fragmentos gruesos y en la textura del suelo. En cuanto a procesos de formación involucrados en el desarrollo de los suelos, los autores (*op. cit.*) señalan que el principal proceso es la meteorización física, aunque procesos criogénicos y meteorización química también serían importantes.

Los estudios de suelos realizados con mayor detalle se han centrado en las Islas Rey Jorge, Robert y Livingston, pertenecientes a las Islas Shetland del Sur. Bockheim y Ugolini (1990) asignan tentativamente estas Islas a una *Zona Desértica Polar*. Para estos autores los suelos zonales estarían representados por un tipo de suelos *Brown Earth*, los cuales no presentan una capa superficial de humus, no presentan lombrices y tienen un permafrost entre 1 y 2 m de profundidad (Figura 8-8, al final del Capítulo). Estos suelos se presentan bajo una tundra líquenes-musgo o bien bajo una cubierta de *Deschampsia sp.* También en algunas Islas del Archipiélago se han reportado suelos con colores fuertemente oxidados (pardo rojizo oscuro, 5YR3/3) en el subsuelo.

En la Isla Robert, Haberland (1992) y Álvarez (1993) describieron, al menos 10 pedones, tomaron muestras y obtuvieron análisis de laboratorio, por lo cual se considera una información bastante confiable. En el Cuadro 8-1 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de un suelo en la Península Coppermine de la Isla Robert.

Cuadro 8-1. Propiedades químicas y físicas de un perfil de la Península Coppermine (Haberland, 1992)

| Profundidad (cm) | 0 - 3 | 3 - 8 | 8 - 18 | |
|---|-------|-------|--------|------|
| Distribución partículas por tamaño (%) | A | AC | C | |
| 2-1 | 9,6 | 14,7 | 7,3 | |
| 1-0,5 | 15,6 | 18,0 | 17,7 | |
| 0,5-0,25 | 15,9 | 15,2 | 17,1 | |
| 0,25-0,10 | 22,3 | 18,8 | 17,5 | |
| 0,10-0,05 | 14,5 | 15,2 | 10,9 | |
| 2-0,05 | 77,9 | 81,8 | 70,4 | |
| 0,05-0,002 | 11,3 | 11,9 | 18,4 | |
| < 0,002 | 10,8 | 6,3 | 11,2 | |
| Clase textural | Fa | aF | Fa | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 18,3 | 16,0 | 26,2 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 12,2 | 11,7 | 16,5 | |
| Carbono orgánico (%) | 1,7 | 1,1 | 0,3 | |
| pH _{agua} | 5,2 | 4,8 | 6,1 | |
| RAS | 0,46 | 0,35 | 0,31 | |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 11,3 | 9,6 | 26,6 |
| | Mg | 18,7 | 12,8 | 36,8 |
| | K | 1,1 | 0,9 | 2,2 |
| | Na | 1,8 | 1,2 | 1,7 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 32,9 | 24,5 | 67,3 | |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 34,0 | 33,5 | 51,5 | |

Todos los suelos descritos tienen como sustrato una roca basáltica diaclasada, aún cuando la describen con diferentes grados de meteorización. En algunos perfiles es evidente la presencia de un permafrost descrito entre 50 y 100 cm de profundidad. Los suelos son delgados y muy delgados considerando la profundidad hasta la roca, esto es, desde 17 hasta 70 cm. Los suelos descritos como más profundos se encuentran sobre un permafrost, entre 90 y 110 cm. La posición fisiográfica y las pendientes son variadas: desde planos inclinados (30 a 35%), lomajes suaves (7 a 10%), posiciones cóncavas (1 a 3%), terrazas altas (6%), taludes ondulados (3 a 5%), terrazas marinas (2%) y drumlins (10 a 15%).

Según Álvarez (1993) en todos los suelos dominan las clases texturales gruesas, tales como arenosa, areno francosa hasta franco arenosa, considerada como la más fina de las descritas, tanto para los horizontes superficiales como para los subsuperficiales. Las gravas angulares y subangulares son frecuentes en la mayoría de los horizontes. En ninguno de los perfiles estudiados se describe grado de estructura, de tal manera que aquellos suelos de clases texturales gruesas y muy gruesas, se presentan como grano simple y los demás, como masiva (figuras 8-9 y 8-10, al final del Capítulo). Solamente en algunos suelos existe una cubierta de musgos y líquenes, generando un colchón de materiales orgánicos de pocos centímetros, por lo cual en ningún suelo se describen raíces en profundidad. El pH fluctúa entre 5,2 y 7,1 en el horizonte superficial y en los horizontes más profundos entre 5,3 y 7,7, con un complejo de intercambio dominado por Ca⁺², Mg⁺² e H⁺. Aunque se detectó una baja presencia de materiales coloidales, la

CIC es alta, a causa de la presencia de zeolitas o minerales semejantes a zeolitas. También la SB se presenta particularmente alta, entre 80 y 100% y solamente en algunos perfiles puede ser tan baja como 35 a 40%. No se describen rasgos redoximórficos en ningún suelo. Originalmente los suelos fueron clasificados según Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1987) como Pergelic Cryorthents y Pergelic Cryochrepts. Sin que existan antecedentes morfológicos o físico-químicos nuevos que aportar, se podría asumir que la mejor correlación con Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2006) podría ser con Typic Haplorthels para ambos casos. En el Cuadro 8-2 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de un suelo de la isla Robert.

Cuadro 8-2. Propiedades químicas y físicas de un perfil de la Isla Robert (Álvarez, 1993)

| Profundidad (cm) | 0 – 8 | 8 – 30 | 30 – 47 |
|---|-------|--------|---------|
| Distribución partículas por tamaño (%) | A | C | R |
| 2-1 | 10,43 | 9,83 | 22,16 |
| 1-0,5 | 20,96 | 19,06 | 27,07 |
| 0,5-0,25 | 16,92 | 11,66 | 14,08 |
| 0,25-0,10 | 16,27 | 12,21 | 10,53 |
| 0,10-0,05 | 9,17 | 12,04 | 6,93 |
| 2-0,05 | 73,74 | 64,81 | 80,79 |
| 0,05-0,002 | 13,03 | 18,65 | 10,72 |
| < 0,002 | 13,22 | 16,54 | 8,49 |
| Clase textural | Fa | Fa | aF |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 26,41 | 25,48 | 22,19 |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 15,46 | 14,61 | 14,76 |
| Carbono orgánico (%) | 0,29 | 0,13 | 0,12 |
| pH _{agua} | 7,00 | 7,55 | 7,65 |
| RAS | 0,40 | 0,37 | 0,34 |
| | Ca | 28,7 | 36,3 |
| Complejo de cambio | Mg | 29,0 | 22,8 |
| (cmol _c kg ⁻¹) | K | 1,01 | 0,73 |
| | Na | 2,01 | 1,84 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 57,68 | 60,78 | 61,65 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 49,3 | 52,0 | 56,0 |

En la Isla Livingston, Henríquez (1994) describió y muestreó cinco suelos ubicados en varias posiciones en el paisaje: terrazas altas, planos inclinados, terrazas marinas y colinas dentro de un paisaje de *outwash plain* (Figura 8-11, al final del Capítulo). Las pendientes más comunes son de 2 a 5% y solo excepcionalmente un plano inclinado presentó pendientes sobre 20%. Los suelos van desde delgados (37 cm) hasta moderadamente profundos (80 cm). El sustrato está constituido por roca de tipo andesita con diferentes grados de meteorización, con arena intersticial en cantidades variables. Las clases texturales son más finas que las descritas para los suelos de la Isla Robert, de tal manera que en los horizontes superficiales dominan las clases franco arcillo limosa y franco arenosa. También a través de los perfiles dominan las clases franco arcillo limosa; solamente en el horizonte más profundo de dos suelos se describió arena gruesa con gravas. El contenido de CO en superficie varía entre 0,2 y 0,6%, considerando que la mayoría de los suelos presenta una carpeta de líquenes – musgos. Contenidos

similares se describieron también en los horizontes inferiores. El pH es elevado en los horizontes superficiales, alcanzando valores de hasta 7,7, mientras que en profundidad decrecen hasta 4,8 como el valor más bajo. Llama la atención que todos los suelos presentan una SB de 100% con un complejo de intercambio saturado con Ca^{+2} y Na^{+} y en otros casos con Ca^{+2} y Mg^{+2} . Aún cuando no existe mayor información de terreno y analítica, estos suelos se podrían asimilar a los sub Órdenes Gelepts o Cryepts, dado que presentan un mayor contenido de fracción fina en los horizontes subsuperficiales. En el Cuadro 8-3 se presentan las principales propiedades químicas y físicas de un suelo de la Isla Livingston.

Cuadro 8-3. Propiedades químicas y físicas de un perfil de la Isla Livingston, (Henríquez, 1994)

| Profundidad (cm) | 0 - 8 | 8 - 14 | 14 - 33 | 33 - 70 | |
|---|----------------|------------------|-----------------|-----------------|------|
| Distribución partículas por tamaño (%) | A ₁ | 2 A ₂ | 3C ₁ | 3C ₂ | |
| 2-0,05 | 79,15 | 58,15 | 73,30 | 79,25 | |
| 0,05-0,002 | 17,46 | 30,05 | 20,37 | 10,91 | |
| < 0,002 | 3,39 | 11,80 | 6,33 | 9,84 | |
| Clase textural | Fa | Fa | Fa | Fa | |
| Agua retenida 33 kPa (%) | 16,23 | 21,44 | 18,86 | 18,68 | |
| Agua retenida 1.500 kPa (%) | 11,52 | 12,56 | 13,42 | 13,51 | |
| Carbono orgánico (%) | 0,39 | 0,17 | 0,15 | 0,15 | |
| pH _{agua} | 6,25 | 7,23 | 7,37 | 7,55 | |
| Complejo de cambio (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 1,23 | 9,73 | 4,49 | 6,23 |
| | Mg | 6,99 | 6,58 | 4,93 | 4,32 |
| | K | 3,19 | 1,80 | 1,00 | 0,60 |
| | Na | 8,05 | 7,03 | 4,90 | 3,08 |
| Suma de bases (cmol _c kg ⁻¹) | 19,46 | 25,14 | 15,32 | 14,23 | |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | 22,94 | 21,54 | 19,44 | 18,24 | |

8.4 Suelos Ornitogénicos

En la Isla Rey Jorge, Michel *et al.* (2006), describieron este tipo de suelos en un sector cuyo material parental está constituido por morrenas de fondo, cubiertas por rocas volcánicas meteorizadas, principalmente basaltos andesíticos y gravas provenientes de un *outwash* superior. Los Gelisols ornitogénicos se caracterizan por ser profundos, con una estrata activa gruesa, con algunas gravas hasta los 30 cm de profundidad y con un epipedón hístico humificado de color pardo. Los suelos más profundos ocurren en pendientes suaves y sitios estables, ya abandonados por los pingüinos y donde la vegetación alcanza su máxima altura y diversidad. En varios suelos es posible identificar rasgos de crioturbación, fenómeno que ha originado la mezcla de horizontes minerales y orgánicos, dando origen a formas particulares tales como cuñas y horizontes retorcidos (*convoluted*).

En este tipo de suelos, la fosfatización es el principal proceso pedogénico que causa acidez y meteorización. La acción del hielo tiende a distribuir los agregados ricos en P en el perfil (Ugolini y Bockheim, 2008).

Se describió un suelo clasificado como Glacíc Haploturbel (Michel *et al.*, 2006), ubicado en un nivel superior de una morrena lateral. Se trata de un suelo profundo con estructura granular media que los autores atribuyen a los ciclos de congelamiento-descongelamiento que ocasionan una compresión y rápido desecamiento de los agregados. En el Cuadro 8-4 se presentan algunas propiedades de este suelo.

Cuadro 8-4. Algunas propiedades físicas, químicas y físico-químicas de un perfil de Glacíc Haploturbel (Michel *et al.*, 2006)

| Profundidad (cm) | | 0 - 10 | 10 - 20 | 20 - 30 | 30 - 40 | 40 - 50 | 50 - 60 |
|--|------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Distribución | 2- 0,02 | 36 | 30 | 32 | 31 | 37 | 32 |
| partículas por tamaño (%) | 0,2-0,05 | 6 | 9 | 10 | 10 | 8 | 8 |
| | 0,05-0,002 | 38 | 35 | 34 | 35 | 33 | 39 |
| | < 0,002 | 20 | 26 | 24 | 24 | 22 | 21 |
| Clase textural | | F | F | F | F | F | F |
| pH _{agua} | | 5,9 | 7,1 | 7,8 | 8,2 | 8,0 | 8,5 |
| pH _{KCl} | | 4,4 | 6,1 | 5,7 | 6,3 | 6,4 | 6,6 |
| N (%) | | 0,06 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| P-Mehlich-1 (mg dm ⁻³) | | 185 | 392 | 290 | 246 | 324 | 298 |
| K (mg dm ⁻³) | | 228 | 244 | 224 | 216 | 244 | 232 |
| Na (mg dm ⁻³) | | 396 | 388 | 376 | 320 | 380 | 344 |
| Al ⁺⁺⁺ (cmol _c dm ⁻³) | | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| H ⁺ + Al ⁺⁺⁺ (cmol _c dm ⁻³) | | 4,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Ca ⁺⁺ (cmol _c dm ⁻³) | | 15,42 | 7,83 | 8,18 | 7,79 | 7,86 | 7,87 |
| Mg ⁺⁺ (cmol _c dm ⁻³) | | 5,00 | 4,98 | 2,69 | 4,6 | 4,45 | 4,42 |
| Suma de bases (cmol _c dm ⁻³) | | 22,72 | 15,12 | 13,07 | 14,33 | 14,58 | 14,38 |
| CIC (cmol _c dm ⁻³) | | 22,92 | 15,12 | 13,07 | 14,33 | 14,58 | 14,38 |

También se ha descrito un Lithic Umbríturbel, en cuyo caso el horizonte superficial está constituido por una capa delgada de restos fibricos y musgos mezclados con fragmentos de roca. Entre los 10 y los 40 cm se presenta una capa pedregosa con rasgos de reducción y bajo los 40 cm de profundidad, se describe una capa de material humificado, de naturaleza fibrica y mezclada con gravas finas. Otro suelo, clasificado como Lithic Fibristel, presenta color y textura uniforme a través del perfil. El horizonte superficial está constituido por restos fibricos de musgos, en cambio hacia los horizontes inferiores la MO, de color pardo, está parcialmente humificada. Presenta un drenaje pobre, aun cuando no se describieron rasgos redoximórficos. Finalmente se describió un Psammentic Aquíturbel, ubicado próximo a un canal de derretimiento de hielo, cercano a las guaridas actuales y sobre una terraza marina. Los datos químicos para este suelo demuestran una clara influencia de ingresos laterales de guano y de lixiviados desde fuentes más altas.

Posteriormente, Simas *et al.* (2007) describen, también en la Isla Rey Jorge, varios pedones del tipo ornitogénico, cuyas características se sintetizan en el Cuadro 8-5. Debido a su evolución pedogénica única y sus diferentes características tanto químicas, mineralógicas, morfológicas como micromorfológicas, argumentan que el carácter ornitogénico debería ser considerado a un nivel alto en los sistemas de clasificación de suelos, criterio que es compartido por Michel *et al.* (2006) y Tarnocai *et al.* (2004).

Por último, Zhu *et al.* (2009) destacan la importancia que, en la actualidad, tienen estos suelos en consideración a que el C y el N liberado en los ciclos de congelamiento-descongelamiento desde excretas de animales marinos, juegan un rol significativo en las

emisiones de gases de efecto invernadero, los cuales pueden constituir una proporción importante de los flujos anuales desde ecosistemas de tundra en la costa de la Antártica.

Cuadro 8-5. Síntesis de suelos ornitogénicos descritos en Isla Rey Jorge (Simas *et al.*, 2007)

| Pedón | Altitud (msnm) | Vegetación | ST / WRB | Descripción general |
|-------|----------------|------------|---|--|
| A10 | 147 | Ausente | Typic Haploturbel / <i>Turbic Cryosol</i> | Desierto Subpolar sin influencia ornitogénica. Pavimento de desierto sobre un till basáltico oxidado. Virtualmente sin horizonación. Estructura granular media y grano simple. |
| A9 | 87 | D>C | Lithic Haploturbel / <i>Turbi-Leptic Cryosol</i> | Desierto Subpolar con débil influencia ornitogénica. Vegetación discontinua con plantas superiores (<i>Deschampsia antarctica</i>) y algas verdes (<i>Prasiola crispa</i>). Formación de un delgado e incipiente horizonte A. Estructura granular media y grano simple. |
| A4 | 72 | D>C | Typic Psammenturbel / <i>Hapli-Turbic Cryosol</i> | Roquerío abandonado en el nivel más alto y de mayor antigüedad, con influencia ornitogénica. Cubierta continua de vegetación. Horizontes A, B y C bien definidos. Estructura migajosa (crumb) en A y granular media en B. Permafrost que comienza a los 45 cm. |
| A3 | 69 | D>M>C | Typic Psammenturbel / <i>Skeleti-Turbic Cryosol</i> | Bien drenado con un bien definido horizonte A bajo una cubierta de vegetación continua. Fosfatización evidenciada por un horizonte B blanquecino discontinuo a partir de los 20 cm. Estructura migajosa en horizonte A. Grano simple y estructura granular media en B. Permafrost a 50 cm. |
| A6 | 50 | D>M>C>L | Andic Umbríturbel / <i>Umbri-Turbic Cryosol</i> | Cubierta vegetacional bien desarrollada y presencia de un horizonte A. Permafrost desde los 60 cm. |
| A1 | 45 | D>L | Andic Umbríturbel / <i>Umbri-Turbic Cryosol</i> | Terraza elevada bien drenada, en la parte inferior de la pendiente. Cubierta vegetacional continua y un horizonte A bien definido. Influencia indirecta de pingüinos por percolados laterales desde roqueríos. |
| A5 | 45 | P | Typic Haploturbel / <i>Andi-Turbic Cryosol</i> | Horizonte A incipiente, bajo una bien desarrollada cubierta de <i>Prasiola crispa</i> . Permafrost a 65 cm. |
| A2 | 32 | M>D | Psammentic Aquíturbel / <i>Oxyaqui-Turbic Cryosol</i> | Similar a Sitio 6, pero pobremente drenado con predominancia de musgos. Recibe abundantes lixiviados desde roqueríos más altos. |
| A7 | 23 | M>D | Terric Fibristel / <i>Turbi-Histic Cryosol</i> | Turba de musgos en terraza marina elevada. Horizonte O fibrico de 50 cm, sobre un horizonte mineral. Permafrost a 70 cm de la superficie. |
| A8 | 5 | D>M>C | Andic Cryofluvent / <i>Gelic Fluvisols</i> | Terraza marina bajo una fuerte influencia de lixiviados ricos en nutrientes desde roqueríos. Son frecuentes los precipitados fosfáticos blancos en la superficie de rocas. Grano simple como grado de no estructura. |

M: musgos; L: líquenes; D: *Deschampsia antarctica*; C: *Colobanthus quietensis*; P: *Prasiola crispa*

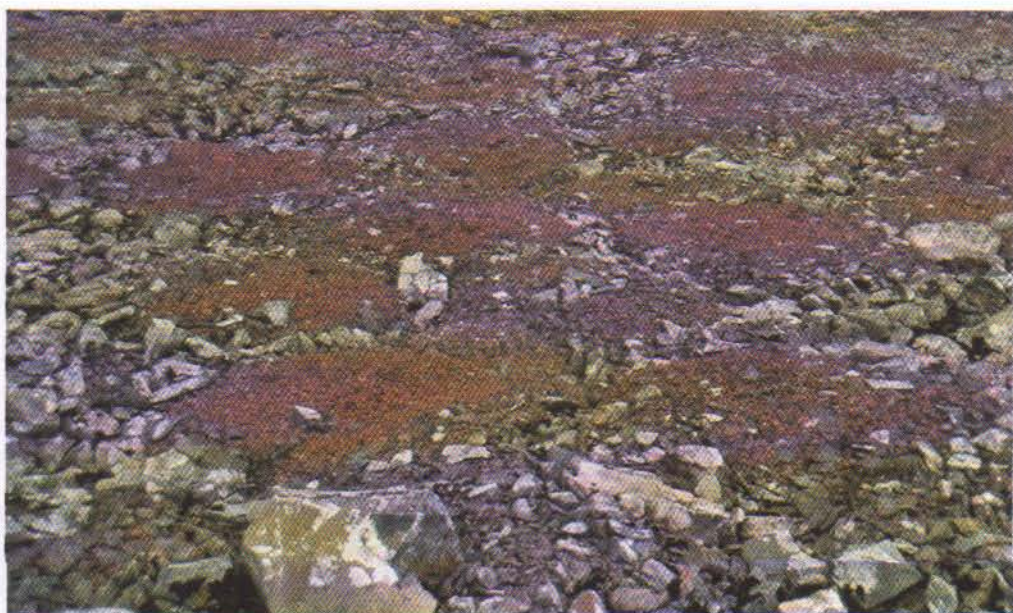


Figura 8-4. Los procesos de congelamiento y deshielo constituyen agentes de meteorización del manto petrográfico e incluso de los suelos y que determinan procesos físicos y químicos pedogénicos únicos.



Figura 8-5. Formación de polígonos de materiales finos y gravas por efecto de los procesos de crioturbação. Se puede considerar que los ciclos de congelamiento y deshielo puedan afectar la estructuración del suelo, generando un incremento en el agrietamiento.



Figura 8-6. En la formación de los suelos no es posible excluir la influencia biológica, aun cuando ella se encuentre restringida a una débil cubierta de líquenes, musgos y algas que, evidentemente, no podría afectar más que los primeros centímetros del perfil.



Figura 8-7. Los suelos formados en la Antártica Marítima son poco profundos, de escaso desarrollo pedogénico, de clases texturales gruesas, con abundante pedregosidad tanto superficial como en el perfil y baja actividad biológica. Generalmente presentan un perfil A - C.



Figura 8-8. Permafrost a 1 m de profundidad bajo un suelo de tipo coluvial.



Figura 8-9. Perfil de un suelo en la Isla Rey Jorge que ejemplariza las clases texturales gruesas, tanto para los horizontes superficiales como para los subsuperficiales, además de la ausencia de estructura, que se ha descrito como de grano simple o masiva.



Figura 8-10. Paisaje del suelo anterior. Los colores rojos se atribuyen a una gran cantidad de óxidos de Fe, cuyo origen se estima más bien litocrómico que pedogénico.



Figura 8-11. Paisaje en la Isla Rey Jorge que ejemplariza varias posiciones: terrazas altas, planos inclinados y colinas dentro de un paisaje de *outwash plain*.

CAPÍTULO 9

Suelos de la Isla de Pascua y de Juan Fernández



Vista del cráter de Rano Kao (Hunt, 2007)

Luzio, W., Casanova, M., Seguel, O. 2009. Suelos de la Isla de Pascua y de Juan Fernández. pp: 323-339. *In*: Suelos de Chile. (Luzio, W., Editor). Universidad de Chile.



La Isla de Pascua se encuentra sobre una pequeña plataforma submarina que alcanza una altura de 560 m. Se considera que el paisaje en general es montañoso, aun cuando sus alturas máximas no superan los 70 msnm. Las pendientes son complejas y varían entre 1 a 3%, 3 a 8% hasta 4 a 15%; en los conos volcánicos son comunes las pendientes entre 15 a 20%. A medida que aumenta el gradiente, los suelos se hacen delgados y muy delgados. Los materiales parentales son esencialmente lavas andesíticas, escorias volcánicas y capas de tobas, además de cenizas volcánicas basálticas y andesíticas. Además del material volcánico finamente dividido, existe una considerable cantidad de cenizas volcánicas más antiguas, mezcladas con la escoria de los conos volcánicos. Como este material finamente dividido se meteoriza rápidamente, con frecuencia es muy difícil distinguir con claridad los componentes del suelo derivados de los sedimentos volcánicos recientes de aquellos provenientes de cenizas más antiguas (Wright, 1965).

Según Louwagie *et al.* (2006) la Isla se caracteriza por poseer varias limitaciones ambientales severas, algunas de las cuales se han incrementado con el paso del tiempo y que se pueden sintetizar en los cinco puntos siguientes: a) un ambiente insular fuertemente aislado, con superficie y recursos limitados, b) una estación seca con un superávit o un déficit de humedad impredecibles, a causa de las grandes variaciones climáticas, c) extensas áreas de suelos delgados con grandes afloramientos de roca basáltica, d) suelos excesivamente drenados y e) isla volcánica con suelos con propiedades ándicas que tiene como resultado una baja disponibilidad de P y de K.

La erosión de flujo precanalizado se manifiesta en casi toda la Isla, y en sectores como en la parte norte de ella son frecuentes las cárcavas. Según Alcayaga y Narbona (1969) *el proceso de erosión, que ha sido estimado como muy grave en informes anteriores, puede decirse que tiene muy poca importancia y significación aun para los actuales sistemas de manejo imperantes*. Sin embargo, otros autores como Díaz (1949) ya señalaban que la erosión era un fenómeno de gravedad que afectaba a todos los suelos con pendientes superiores a 10%, en particular a aquellos que estaban destinados a praderas, las cuales no alcanzaban a cubrir el 50% de la superficie del suelo. Para Honorato y Cruz (1999) un poco más de un quinto de la superficie está afectada por fenómenos erosivos asociados a las laderas de los volcanes principales, con pendientes superiores a 15%. Estos autores mencionan otros estudios que evalúan que la erosión severa afecta aproximadamente 57% de la superficie total.

En la Isla, la evolución geomorfológica reciente está dominada por eventos volcánicos y marinos (Muñoz, 2004). La edad de las formas determina la interrelación que existe entre ellas, tal como sucede al considerar que los sectores más densos de la red de drenaje se encuentran en áreas cuyas edades no superan los 5.000 años, como es el caso del sector de Hiva Hiva (Figura 9-2).

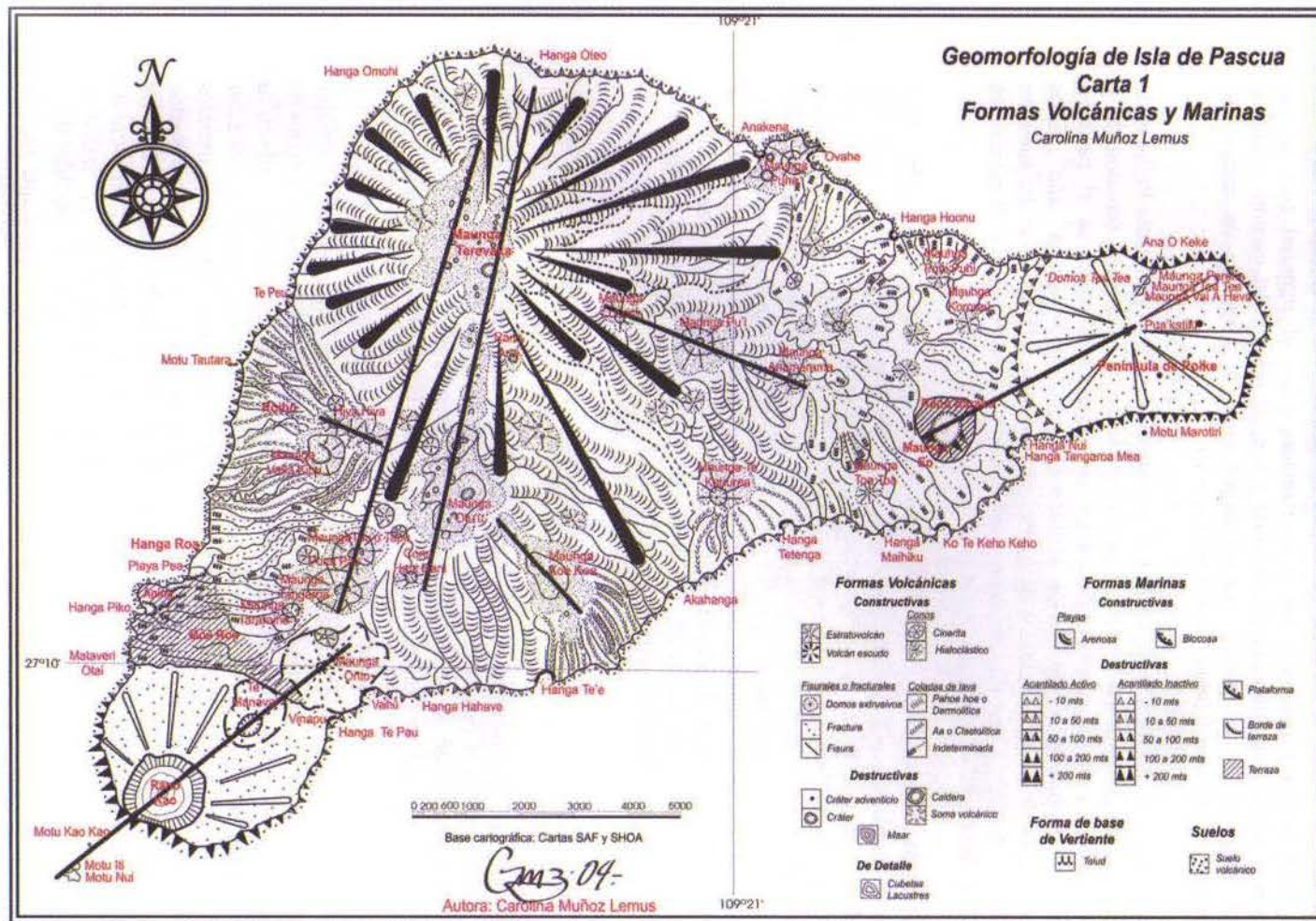


Figura 9-2. Esquema de la geomorfología de la Isla de Pascua con sus formas de origen volcánico y marino (Muñoz, 2004).

Por otra parte, el estado de los acantilados está indudablemente relacionado con la baja acción de procesos elementales de meteorización sobre el material rocoso. Las diferencias encontradas entre las costas norte y sur, al oriente del escudo volcánico Maunga Terevaka, hacen pensar que se deben tanto a diferencia de alturas del acantilado, como a la profundidad del litoral (*op.cit.*).

Más recientemente, Mieth y Bork (2005) al estudiar en detalle la península Poike en la Isla, estiman en $8,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ el suelo re TRABAJADO por erosión (erosionado y depositado dentro de la cuenca). Atribuyen la presencia de cárcavas al pastoreo excesivo, cuyo proceso de formación estiman en más de $190 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Estos mismos autores destacan los efectos de fuertes vientos sobre la superficie del suelo en los badlands de Cabo Cumming, pero precisan que el proceso de erosión dominante es el de flujo superficial de agua.

Los diferentes autores han definido el clima de la Isla como tropical, subtropical marítimo templado cálido y cálido moderadamente húmedo. En todo caso hay coincidencia en que la temperatura media anual es alrededor de los 20°C , con una máxima media de 24°C y una mínima media de 17°C ; se estima que la temperatura media anual del suelo es de 23°C . Se dan promedios anuales de precipitación de 1.200 mm, con fluctuaciones entre 1.700 mm los años lluviosos y 1.000 mm los años secos. Se considera que la evaporación es muy alta, pues la mitad o más del agua caída se evaporarían. Louwagie *et al.* (2006), aplicaron el programa BASIC de Van Wambeke (1985), llegando a la conclusión que el régimen de humedad de los suelos es údico y el régimen de temperatura clasifica como isotérmico.

9.1.2 Características generales de los suelos

Los factores que más influyen tanto en la profundidad como en la naturaleza de los suelos son la altitud, la pendiente, la naturaleza del material parental (ej: depósitos de tefras y lavas) y la edad de estos depósitos (Wright y Díaz, 1962). Los suelos arables se ubican en algunos sectores esparcidos a través de toda la isla (Stevenson *et al.*, 1999; Mann *et al.*, 2008).

Existe coincidencia entre los autores que los suelos tienen su origen en los materiales volcánicos, aun cuando con matices diferentes. Para Díaz (1949) *los suelos derivan de cenizas volcánicas y de lavas volcánicas intemperizadas estando la isla constituida en su parte basal por corrientes de lava de naturaleza basáltica, y posteriormente de carácter andesítico*. Wright (1965) considera a los suelos de la Isla como parte de los *trumaos tropicales*, conjuntamente con otros suelos asociados *no trumaos*, similares a suelos latosólicos jóvenes ya descritos en Samoa Occidental. En tanto Alcayaga y Narbona (1969) establecen que los suelos *derivan en parte de cenizas volcánicas y en parte de lavas descompuestas*. Mikhailov (1999) considera que, además de la actividad volcánica Pleistocénica, han existido intensos procesos hidrotermales que han dado origen a depósitos de arcillas rojas en las líneas de falla, de tal manera que bajo la influencia de los movimientos de masas, estas arcillas se habrían redepositado en pendientes acolinadas. Además, los depósitos de loess tendrían su origen en los vientos dominantes del Este, que habrían transportado las partículas finas desde la zona de abrasión hasta el plateau. Para este autor, la cubierta de depósitos de color rojo es resultante de un metasomatismo hidrotermal de rocas volcánicas y el único producto de

9.1.3 Descripción de los suelos

Para la descripción de los suelos se tomarán en consideración los estudios que significaron un reconocimiento de detalle o semi-detalle con estudios de terreno y no aquellos basados en literatura pre-existente. Cronológicamente ellos son los de Díaz (1949), Wright (1965) y Alcayaga y Narbona (1969).

Díaz (1949) establece una agrupación de suelos en función de su Clase de Capacidad de Uso e identifica siete Series de Suelos. Por tratarse de un estudio que se desarrolló en los inicios de la edafología en Chile, presenta varias limitaciones y, obviamente, no se midieron muchos de los parámetros que se miden en la actualidad. Sin embargo, constituye un punto de partida en el que se apoyaron los estudios y descripciones posteriores, tanto de autores nacionales como foráneos. Las pendientes donde se describieron los suelos son variadas: de 0 a 6%, de 5 a 10%, de 10 a 15% y más de 30% para los más escarpados.

El color que domina en los horizontes superficiales es el pardo, variando entre el pardo claro, pardo rojizo oscuro y pardo rojizo claro y solamente en un caso se describe un color blanco, sin que se especifique la naturaleza de los materiales. Hacia los horizontes más profundos domina el color pardo amarillento. Las clases texturales varían entre franco limosa y franco arenosa fina a través del perfil y en todos los suelos. Para la estructura se describen términos que no se utilizan en la actualidad, pero se asume que podría ser algún grado de no estructura, tal como maciza. Los suelos se describieron como profundos, entre 80 y 200 cm. La pedregosidad es común a abundante en superficie, pero no se informa de pedregosidad en el perfil.

Algunos datos analíticos indican que el pH varía entre 5,5 y 6,6 tanto en superficie como a través del perfil, mientras que la CIC varía de 28 a 60 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. El autor estableció tres grupos de Capacidad de Uso: III, VI y VII. Se presentó un mapa donde se indican las Series de Suelos identificadas: Eyraud, Toro, Hotu-Matua, Roggeween, Toromiro, Tea-Tea y Mohai. En el Cuadro 9-1 se presentan algunos datos aportados por este estudio, para la Serie Hotu-Matua.

Cuadro 9-1. Algunas Propiedades físicas y químicas de un perfil de la Serie Hotu-Matua (Díaz, 1949)

| Profundidad (cm) | 0 - 50 | 50 - 100 | 100 - 150 |
|--|--------|----------|-----------|
| pH _{agua} | 5,84 | 6,15 | 6,34 |
| N-NO ₃ (%) | 0,004 | 0,004 | 0,0006 |
| P-P ₂ O ₅ sol. (%) | 0,014 | 0,031 | 0,014 |
| K- K ₂ O sol. (%) | 0,028 | 0,008 | 0,015 |
| Cationes de cambio | | | |
| Ca | 8,125 | 5,861 | 6,859 |
| ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | | | |
| Mg | 4,477 | 2,777 | 4,213 |
| CIC ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) | 36,91 | 30,70 | 60,66 |

Wright (1965) describió suelos en ladera del volcán, planicie en ladera de volcán y en una posición suavemente ondulada. Las pendientes varían entre 7 y 14%. Identifica el sustrato de los suelos, ya sea como escoria volcánica o como toba meteorizada. Los suelos son profundos, entre 125 y 175 cm hasta el sustrato. El color en superficie es pardo oscuro (7.5YR3/2 - 3/3), en cambio en los horizontes más profundos los colores son pardo rojizo (2.5YR4/4 y 5YR4/4) y rojo amarillento (5YR5/8). Las clases

texturales son más finas que las descritas en el estudio anterior: franco arenosa fina, franco arcillo limosa y arcillo limosa, tanto para el horizonte superficial como para los horizontes subsuperficiales. La estructura se definió como de bloques subangulares para todos los suelos. El único dato químico que se incluye en este estudio es el pH que, en superficie varía entre 5,1 y 5,9 y que se hace más ácido en profundidad, hasta pH 4,8. Este autor identifica tres Series de Suelos: Rano-Kao, Vinapu y Poike. Debido a la limitada disponibilidad de datos morfológicos y analíticos, no fue posible establecer una correlación con las Series de Suelos del estudio de Díaz (1949), ni tampoco establecer alguna aproximación con una clasificación taxonómica, aun cuando este autor deja en claro el origen volcánico de los suelos.

El estudio de toda la Isla de Pascua, de Alcayaga y Narbona (1969) fue realizado a escala 1:40.000 con un exhaustivo reconocimiento de terreno. Los suelos se describieron en laderas de volcanes, piedmonts y planos depositacionales con pendientes generalmente planas o casi planas (0 a 1%; 1 a 3%), moderadamente inclinadas (3 a 8%) y fuertemente onduladas (15 a 20%). Muy relacionada con la posición en que se encuentran los suelos, está el contenido de gravas y piedras en superficie; de esta forma la pedregosidad superficial es abundante en aquellos descritos en las laderas de volcanes o en situación de piedmont (Figura 9-4).



Figura 9-4. Fragmentos gruesos en el perfil de un suelo en Isla de Pascua (foto Muñoz, 2004).

El sustrato de todos los suelos se describió como constituido por lavas con diferentes grados de alteración y algunas de ellas descritas como porosas; solamente en un caso, Serie Vaitea, el sustrato se describe como una mezcla de lavas y cenizas volcánicas. Las clases texturales que se describen en este estudio son particularmente uniformes, pues varían solamente entre arcilla densa y arcilla poco densa, tanto para los horizontes superficiales como para los subsuperficiales. Este parámetro podría ser discutible, si se considera que el origen de los suelos se encuentra en cenizas volcánicas y que la mayoría de los autores los consideran incluso próximos a los trumaos (Andisols) del continente.

Cuadro 9-2. Algunas propiedades físicas y químicas de un perfil de la Serie Orito (Alcayaga y Narbona, 1969)

| Profundidad (cm) | | 0 - 16 | 16 - 37 | 37 - 62 | 62 - 76 |
|--|------------|--------|---------|---------|---------|
| Distribución de | 2-0,05 | 14,08 | 9,68 | 24,97 | -- |
| partículas por tamaño | 0,05-0,002 | 24,85 | 41,96 | 38,40 | -- |
| (%) | < 0,002 | 60,37 | 43,39 | 35,96 | -- |
| Clase textural | | A | AL | FA | -- |
| Agua retenida, 33 kPa (%) | | 51,9 | 49,8 | 68,0 | 70,2 |
| Agua retenida, 1.500 kPa (%) | | 34,3 | 32,0 | 39,5 | 37,2 |
| P _{Olsen} (ppm/suelo) | | 46,5 | 30,5 | 23,0 | 7,5 |
| pH _{agua} | | 6,3 | 6,4 | 6,4 | 6,0 |
| Carbono orgánico (%) | | 4,25 | 3,08 | 1,71 | 1,47 |
| N (%) | | 0,42 | 0,08 | 0,03 | 0,18 |
| Cationes extraíbles (cmol _c kg ⁻¹) | Ca | 3,50 | 3,87 | 3,75 | 2,01 |
| | Mg | 5,96 | 6,72 | 5,72 | 4,00 |
| | K | 0,77 | 0,91 | 0,18 | 0,17 |
| | Na | 1,08 | 1,38 | 2,23 | 1,98 |
| CIC (cmol _c kg ⁻¹) | | 51,15 | 47,68 | 48,96 | 44,62 |

Louwagie *et al.* (2006) estiman que los suelos de la Isla de Pascua definitivamente derivan de tefras, cuya meteorización ha llevado a la formación de materiales con claras propiedades ándicas, de tal forma que varios de los suelos que ellos estudiaron fueron clasificados como Andisols o intergradados hacia Andisols. En el Cuadro 9-3 se hace un resumen de las clasificaciones taxonómicas para ISSS (1998) y USDA, Soil Taxonomy (1999) (*op.cit.*).

Cuadro 9-3. Correlación entre ISSS (1998) y USDA, ST (1999) para algunos suelos de Isla de Pascua (Louwagie *et al.*, 2006)

| Suelo | WRB (1998) | USDA (ST, 1999) |
|-----------------------------|---|---|
| TP3 y VA4 | Hyperdystri-Silandic (Aluandic) Andosol | Typic Hapludand |
| Akahanga: AK1, AK2 y AK3 | (Silti'-Pachic) (Silti-Endosodic) (Silti-Hiposodic) Phaeozem | Andic Hapludoll |
| La Pérouse: LP4 | Silti-Pachic Phaeozem | Typic Hapludoll |
| LP6 | Silti-Suvc Phaeozem | Typic Argiudoll |
| LP1 y VA3 | (Hyperdystri-Silandic) (Ferrali-Silandic) Cambisol | Andic Dystrudept |
| Vaitea: VA2 y LP3 | (Hyperdystri-Humic) (Hyperdystri-Umbrihumic) Cambisol | Andic Dystrudept - Humic Pachic Dystrudept |
| VA8 | Humi-episkeletic Leptosol | Lithic Udorthent |

9.1.4 Evolución histórica de los suelos

La mayor parte de los suelos de la Isla de Pascua han sido disturbados por remoción de la vegetación original de la Isla (Mieth y Bork, 2005) por agricultura prehistórica (Stevenson *et al.*, 1999, 2006) y por un pastoreo histórico de ovejas.

Muchos de estos estudios han permitido reconstruir los perfiles originales de los suelos de la Isla, evidenciando grandes cambios en éstos a través del tiempo. En la Figura 9-5 se puede observar una secuencia de evolución de los suelos según Stevenson *et al.*, (2006). La secuencia de los procesos propuesta es la siguiente: (1) depositación de sedimentos en el Pleistoceno tardío, (2) desarrollo de suelo en el Holoceno temprano,

(2a) pre-colonización de bosque de palmas *Jubea*, (3) deforestación antrópica alrededor del Siglo XII, (4) erosión por flujo precanalizado del horizonte A y parte superior del horizonte B luego de la extracción de árboles, (5) primera fase de cultivo, (6) abandono del cultivo e incremento de suelo coluvial, (7) reocupación de área cultivada por sitios habitados, (8) continuo depósito coluvial, (9) instalación de un pavimento de revestimiento con fragmentos gruesos en los siglos XVIII y XIX.

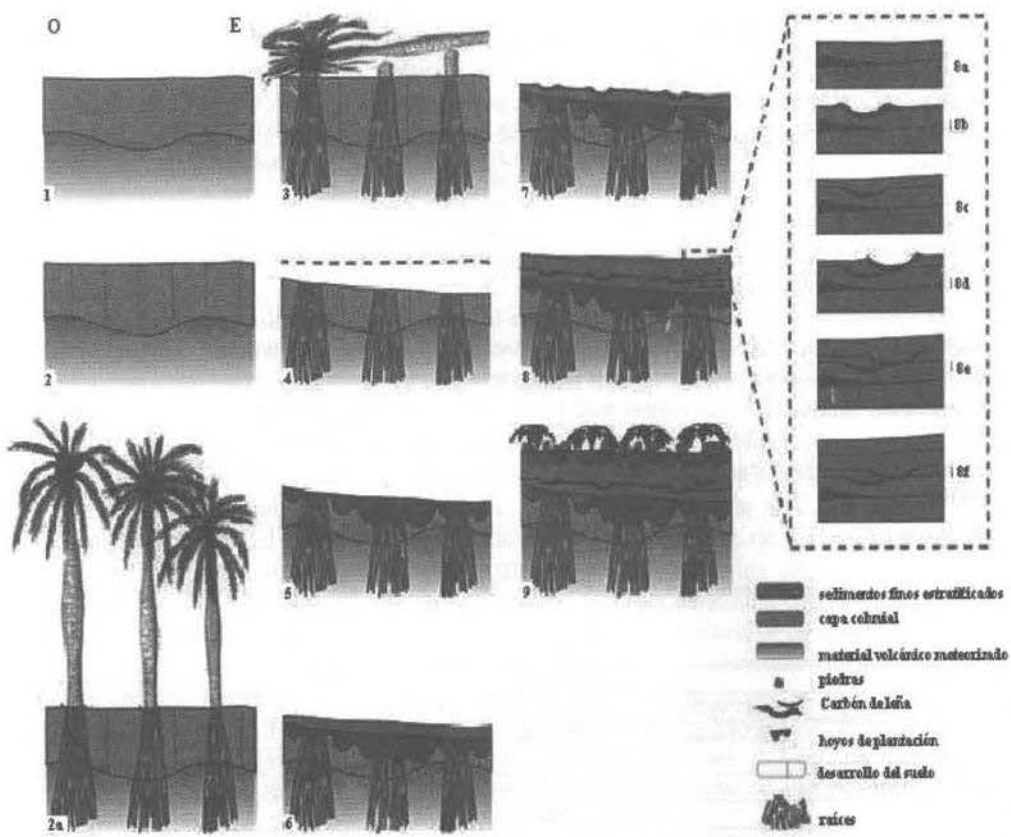


Figura 9-5 Estratigrafía del área Maunga Orito (Isla de Pascua) mostrando las fases diferentes de uso del suelo y depósito de sedimentos coluviales (Stevenson *et al.*, 2006).

Mieth y Bork (2005), en un estudio de la península Poike (Figura 9-6), llegan a conclusiones similares. Para estos autores el proceso comienza con (A) la formación de suelo bajo un bosque natural de palmas, (B) continúa con el corte y la quema del bosque, (C) instalación de plataformas *Ahu* de piedra, (D) acumulación de más de 150 capas de sedimentos finos y finaliza con (E) desarrollo de cárcavas.

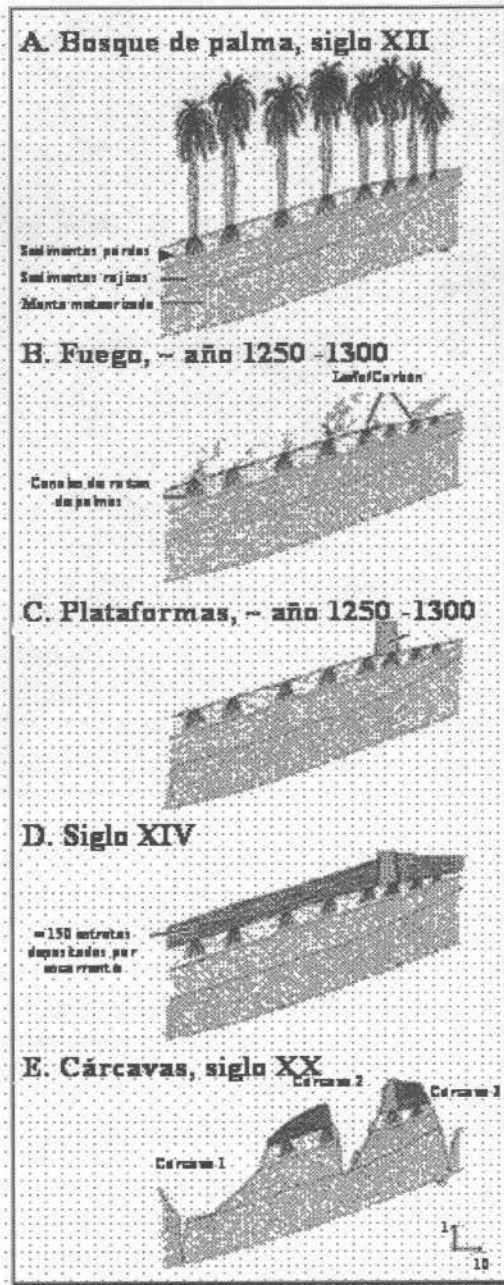


Figura 9-6 Reconstrucción del paisaje en la península de Poike, Isla de Pascua (Mieth y Bork, 2005).

En consecuencia, antecedentes como estos deberían ser tomados en consideración al momento de efectuar cartografías detalladas e interpretaciones de los suelos de la Isla, que muestra innumerables perfiles truncados, paleosuelos y suelos enterrados (Figura 9-7).



Figura 9-7. Perfil de un suelo enterrado en Isla de Pascua (foto Muñoz, 2004).

9.2 Isla de Juan Fernández

9.2.1 Antecedentes Generales

El Archipiélago de Juan Fernández está constituido por las zonas emergidas de un cordón volcánico submarino a una profundidad media de 1000 m, en una extensión de 250 millas desde los 74° W a los 83° W. Este cordón sería parte de una cordillera sumergida que se extiende hacia el norte en forma casi paralela a la costa de Chile continental.

La Isla *Más a Tierra* (también conocida como Isla Robinson Crusoe) abarca 48 km² y su máxima elevación es de 922 m. Su forma es alargada y se encuentra seriamente erosionada (Figura 9-8). Está compuesta de varios centros volcánicos que han irradiado en el tiempo hacia estructuras periféricas (Baker *et al.*, 1987). Datos de K-Ar sitúan la edad de la Isla entre 3,8 y 4,2 m.a. (Stuessey *et al.*, 1984; Farley *et al.*, 1993).

Aproximadamente a 180 km al oeste de *Más a Tierra* se encuentra la Isla *Más Afuera* (conocida como Isla Alexander Selkirk), comparable en tamaño a *Más a Tierra* (52 km²) pero con una estructura de cúpula muy accidentada, sin incisiones y que alcanza una altitud de 1.650 msnm (Figura 9-9). Los datos de K-Ar de *Más Afuera* dan edades del orden de 1 a 2,4 m.a. (Stuessey *et al.*, 1984).

La mayor parte de la información geológica, geomorfológica y edáfica que se proporciona en este sub-capítulo proviene de IREN (1982), cuyo Estudio de los Recursos Físicos del Archipiélago de Juan Fernández provee de una fuente de datos comprehensiva, aun cuando no reciente. Sin embargo, las fuentes de información acerca de este grupo de islas son escasas y poco confiables. Justamente, a raíz de esto último se hará solamente una reseña de las condiciones geológicas y edáficas de la Isla de Juan Fernández, basada en el Informe ya señalado.

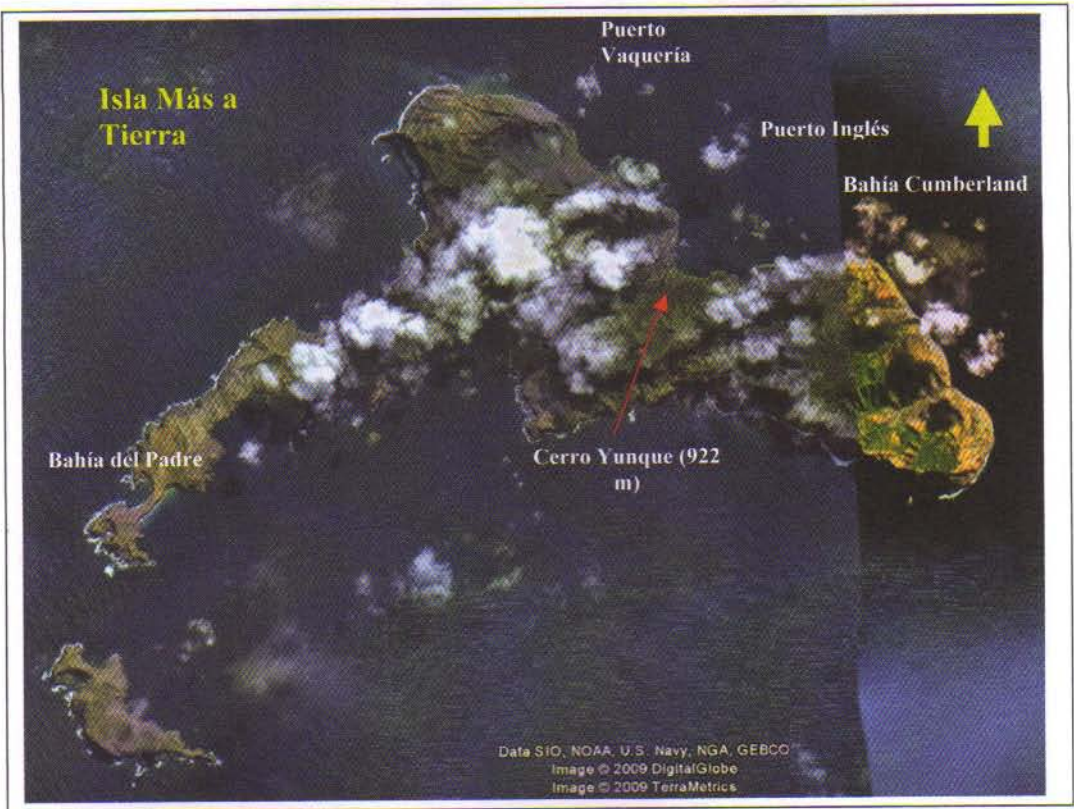


Figura 9-8. Isla Más a Tierra del Archipiélago Juan Fernández (base Earth-google).

Se considera que el origen de la Isla es volcánico, de carácter principalmente basáltico, con distintos períodos de actividad diferenciados por litología, estados de alteración, relaciones de contacto y morfología asociada. Por lo tanto, se trataría de un área emergida de un relieve submarino volcánico relacionado con la Dorsal de Juan Fernández de la Placa de Nazca.

Para los autores del Informe (*op.cit.*) se distinguen cuatro *Pisos* o sectores que establecen diferencias en la morfología de la Isla.

El *Piso Superior* o *Zona de Altas Cumbres*, corresponde a los relieves montañosos que se ubican en la sección oriental de la Isla, cuyo perfil agudo y estrecho proviene de la presencia de diques basálticos que conforman las cimas. Este relieve abrupto se alterna con algunas cumbres mesetiformes, producto de la presencia de capas más resistentes a la erosión.

En el *Piso Medio* o *Zona de Laderas y Cumbres Medias*, sus líneas de cumbre corresponden a divisorias de cuencas de marcada orientación norte. Las laderas tienen pendientes fuertes, que varían entre 35 y 60% y cuya superficie está constituida por afloramientos rocosos continuos con rocas de diferente dureza, lo que le confiere un

perfil escalonado. En esta franja altitudinal se ubica la cabecera de los valles principales.

El *Piso Inferior o Relieves Bajos*, se presenta como un área de cordones bajos y laderas de pendiente fuerte a moderada (35 a 40%) que han sufrido fenómenos masivos de deslizamiento total o parcial de la cubierta edáfica. Se estima que el origen de estos procesos se encuentra tanto en causas naturales como antrópicas. En relación a estas últimas, el sobrepastoreo y la tala de la vegetación original han dejado la superficie desprovista de una cubierta protectora, llevando el proceso erosivo hasta la formación de profundas cárcavas.

El *Piso Deposicional*, corresponde a áreas de depositación producto de procesos aluvionales y aluviales, así como a depósitos eólicos activos. Los conos aluviales y los aluviones se relacionan con los valles más desarrollados, que no concuerdan con la dinámica fluvial actual. Corresponden a restos de conos de deyección en las desembocaduras, disectados por los lechos fluviales actuales. Estos conos presentan una estratificación gruesa con dominio de rodados y bolones gruesos con una matriz de grava fina y arena. En su superficie la granulometría es más fina, próxima al limo con fragmentos de grava fina y arena gruesa. En la Isla, los depósitos eólicos activos se han descrito en diferentes situaciones. Fundamentalmente se encuentran en dos unidades morfológicas que se concentran al W y SW del Aeropuerto. La primera se encuentra en una planicie rocosa baja y está constituida por arenas finas pardo - amarillentas que están en constante movimiento en la dirección de los vientos locales dominantes, esto es, hacia el norte. La segunda unidad se encuentra al norte de la anterior y constituye un depósito de arenas de escaso espesor, sueltas y en constante movimiento.

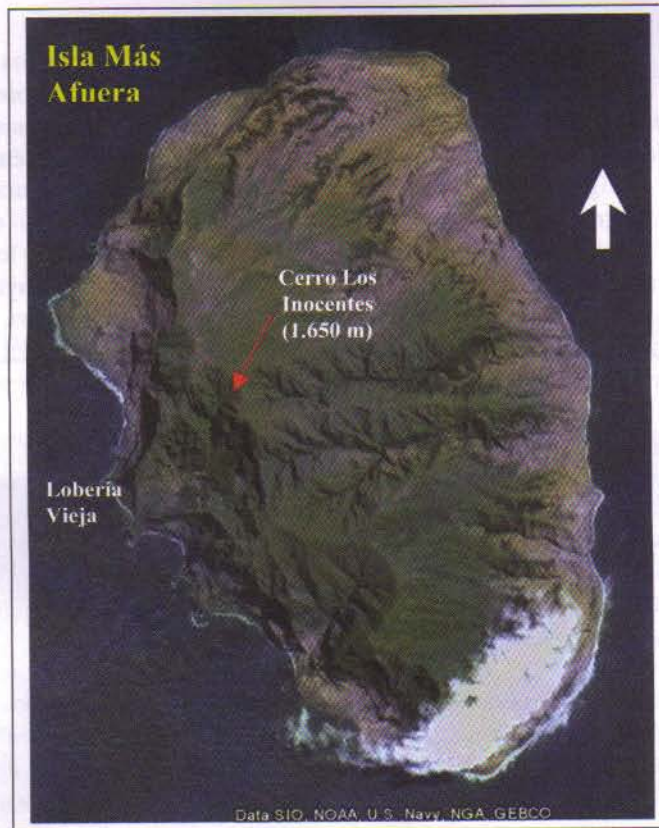


Figura 9-9, Isla Más Afuera del Archipiélago Juan Fernández (base Earth-google).

Con relación a la presencia de cenizas volcánicas, los autores (IREN, 1982) llegan a la conclusión que el depósito cinerítico no sería el resultado de la alteración de rocas, tales como tobas rojas, ni de conglomerados volcánicos, sino que su origen se encontraría en erupciones volcánicas submarinas a partir de centros adyacentes al litoral. Al respecto, señalan antecedentes históricos sobre la ocurrencia de un fenómeno eruptivo en febrero de 1835, con presencia de columnas de humo acompañadas de movimientos sísmicos. Sin embargo, quedan muchas incógnitas por resolver, pues se estima que las cenizas volcánicas habrían actuado como material parental de suelos en amplios sectores. No es probable que las cenizas provenientes de esa erupción histórica hayan tenido la posibilidad de evolucionar hacia suelos de origen volcánico, por lo que el origen de ellos queda aún por estudiar.

9.2.2 Descripción de los suelos

Se considera que los suelos de la Isla deben su situación actual a la conjugación de factores particulares de su entorno, tales como gradiente de pendiente y exposición, cobertura vegetal, situación altitudinal, la dinámica natural de rejuvenecimiento de las formas y, muy en particular, el impacto antrópico, representado por el sobre talajeo, el corte de los bosques, incendios y la construcción de caminos y senderos. En IREN (1982) se establece una primera agrupación de los suelos en tres clases, asociadas cada una a sectores definidos del relieve.

Suelos de Montaña de desarrollo incipiente derivados de cenizas volcánicas. Son suelos de desarrollo incipiente que se ubican sobre los 250 a 300 msnm, con pendientes fuertes y cortas que pueden llegar a 80%. Estos suelos ocupan el área central de mayor altura, con cubierta de vegetación boscosa endémica. Son suelos relativamente delgados, con un perfil A-C, de clases texturales medias a moderadamente gruesas, con estructura de bloques subangulares y rocosidad en el perfil. En los sitios donde se encuentran estos suelos son frecuentes los afloramientos rocosos de roca basáltica poco alterada. En los sectores de mayor densidad de vegetación es frecuente encontrar horizontes superficiales orgánicos. A causa de la topografía accidentada y de las fuertes pendientes en que se encuentran son suelos muy erodables, por lo que se recomienda la manutención de la cubierta vegetal boscosa que los cubre.

El contenido de MO es alto, pues se midieron valores entre 17 y 25%. Los datos proporcionados para la CIC también muestran valores muy elevados, entre 70 y 100 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, siendo el Ca^{+2} y el Mg^{+2} los cationes dominantes en el complejo de intercambio. El pH varía entre 6,0 y 6,8, aun cuando se midieron valores inferiores a 5 en algunos suelos que los autores atribuyen al elevado contenido en MO. Ocupan 1.356 ha, que corresponden al 28,7% del total de la Isla.

Suelos de Relieve Intermedio y Mayor Desarrollo Relativo. Estos suelos se encuentran en pendientes que varían de 20 a 40%, ocupando lomas, laderas de quebradas, sectores de piedmonts y planicies inclinadas remanentes, en las cuales son comunes los procesos de arrastre coluvial con aporte de materiales detríticos desde las posiciones más altas. El sustrato más común está representado por rellenos aglomerádicos con afloramientos rocosos en las partes más bajas. Se considera que el desarrollo pedogénico es mayor que el de los suelos del grupo anterior, pues la mayor parte de los suelos muestran un perfil A-B-C. En algunos casos se describieron horizontes de acumulación de arcillas (B_2). Los colores dominantes son pardo y pardo rojizo en el matiz 7.5YR y las clases texturales son medias a moderadamente finas. También se describieron gravas finas comunes a través de los perfiles. El contenido en MO varía entre 4 y 9% y la CIC, si bien muestra valores inferiores a los del grupo de suelos anterior, se mantiene sobre 40 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Ocupan 705 ha, equivalentes al 15,8% de la superficie insular.

Suelos de Carácter Depositional en Relieves Semi-estabilizados. Son suelos que ocupan una posición plana a moderadamente inclinada. Son de clases texturales finas sobre un sustrato de aglomerados y lavas. Presentan un moderado desarrollo de perfil, pues se describieron secuencias de horizontes A-B-C. En los sectores del Aeropuerto son más evidentes los procesos de erosión eólica. Ocupan 204 ha, equivalentes al 4,3% de la superficie de la Isla.

Finalmente, se describen los **Suelos Misceláneos**, que agrupan a todos aquellos sectores que no constituyen áreas o superficies homogéneas por posición, intensidad de los procesos de degradación, heterogeneidad de los materiales y otras condiciones particulares extremas. Se incluyen en estos Suelos, áreas afectadas por procesos erosivos muy intensos, de tal forma que no fue posible identificar el suelo original al que correspondían. También se incluyeron en esta denominación a los terrenos rocosos, acantilados y sectores de sustrato desnudo a raíz de la presencia de fenómenos erosivos de carácter catastrófico.

CAPÍTULO 10

Cartografía generalizada de suelos de Chile



Casanova, M., Luzio, W., Seguel, O. 2009. Cartografía generalizada de suelos de Chile. pp: 341-350. *In:* Suelos de Chile. (Luzio, W., Ed.).

10.1 Antecedentes Generales

La Cartografía de Suelos en Chile, tanto generalizada como de detalle, es el resultado de la labor de varias instituciones nacionales y de numerosos profesionales que han contribuido, a partir de la década del '30, a la generación de información edáfica de relevancia para el país. En 1942 el Ministerio de Agricultura organizó el primer grupo de Ingenieros Agrónomos Edafólogos para realizar el levantamiento agrológico del país, como consecuencia de las recomendaciones emitidas por una Comisión Oficial (Decreto 647, 30/09/1941).

En la década del '60 cabe destacar el denominado Proyecto Aerofotogramétrico (OEA/BID/Chile) que constituyó uno de los primeros esfuerzos sistemáticos para obtener información acerca de la distribución de los suelos en Chile, al menos en las áreas con potencial agrícola. Hasta 1970 - 1980, los estudios cartográficos se orientaron hacia la obtención de información básica de suelos, cuya finalidad estaba relacionada con el uso agrícola y la definición de la aptitud de uso, fundamentalmente para proyectos de riego y drenaje de carácter regional. Entre 1990 y 2007, CIREN generó un conjunto de estudios tendientes a actualizar la información edáfica entre la III y la XI Región de Chile.

Más recientemente, la orientación de los estudios de suelos ha derivado hacia el afinamiento, para determinadas áreas, de los estudios generalizados realizados con antelación.

En este Capítulo se consignan los esfuerzos que han realizado diversos profesionales, orientados a contar con un Mapa de Suelos de Chile. Se ha tomado como base la recopilación realizada por Díaz (1958), referente a la labor del Sub-Departamento de Agrología del Ministerio de Agricultura. Cabe hacer notar que muchas de estas aproximaciones para obtener una Carta de Suelos de Chile provienen de expertos foráneos, muchos de los cuales nunca visitaron el país, de tal manera que sus mapas tuvieron como base los mapas o informes geológicos y climáticos disponibles.

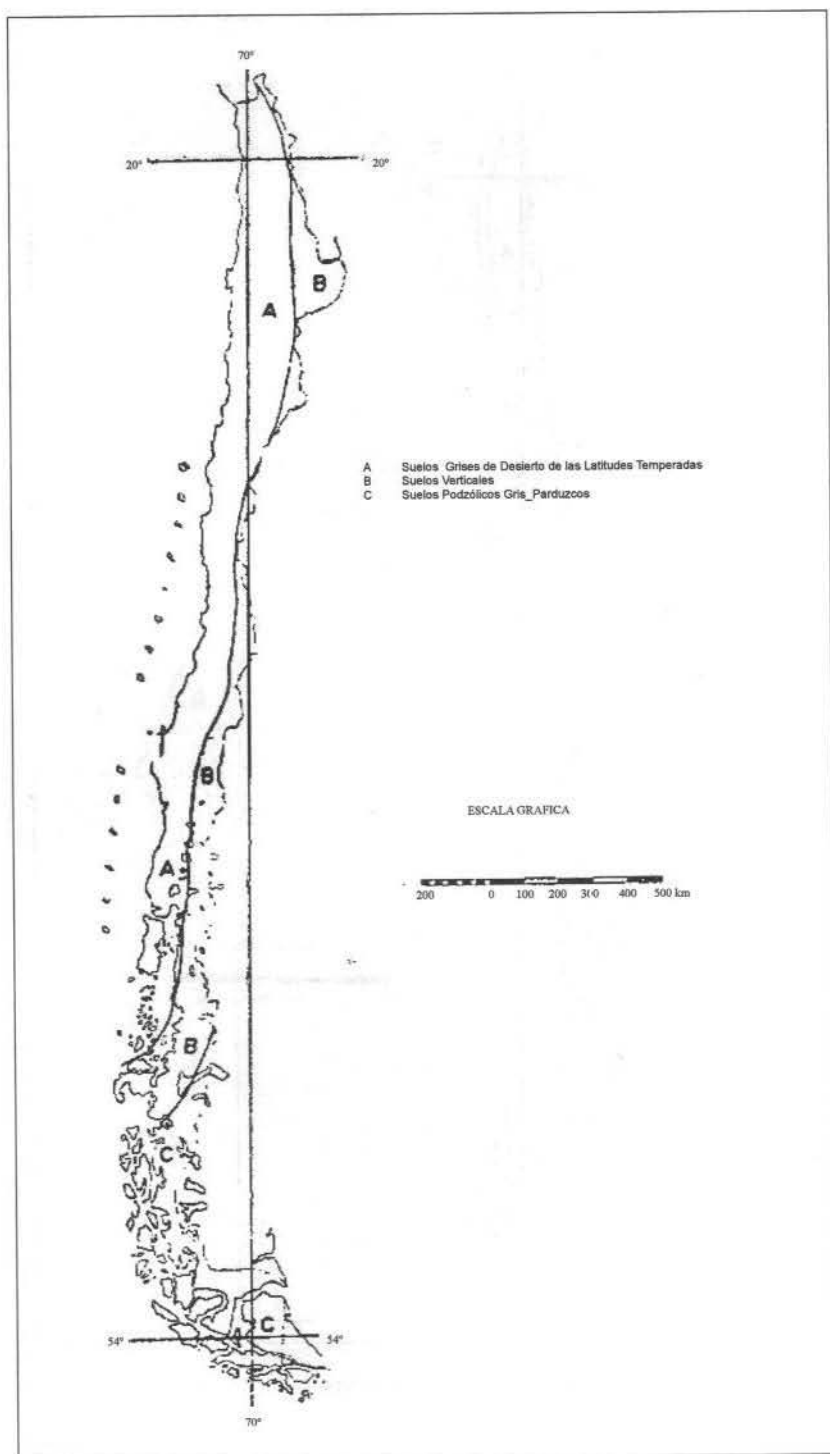


Figura 10-2. Mapa de suelos de Chile según Joffe (1936; de Díaz, 1958).

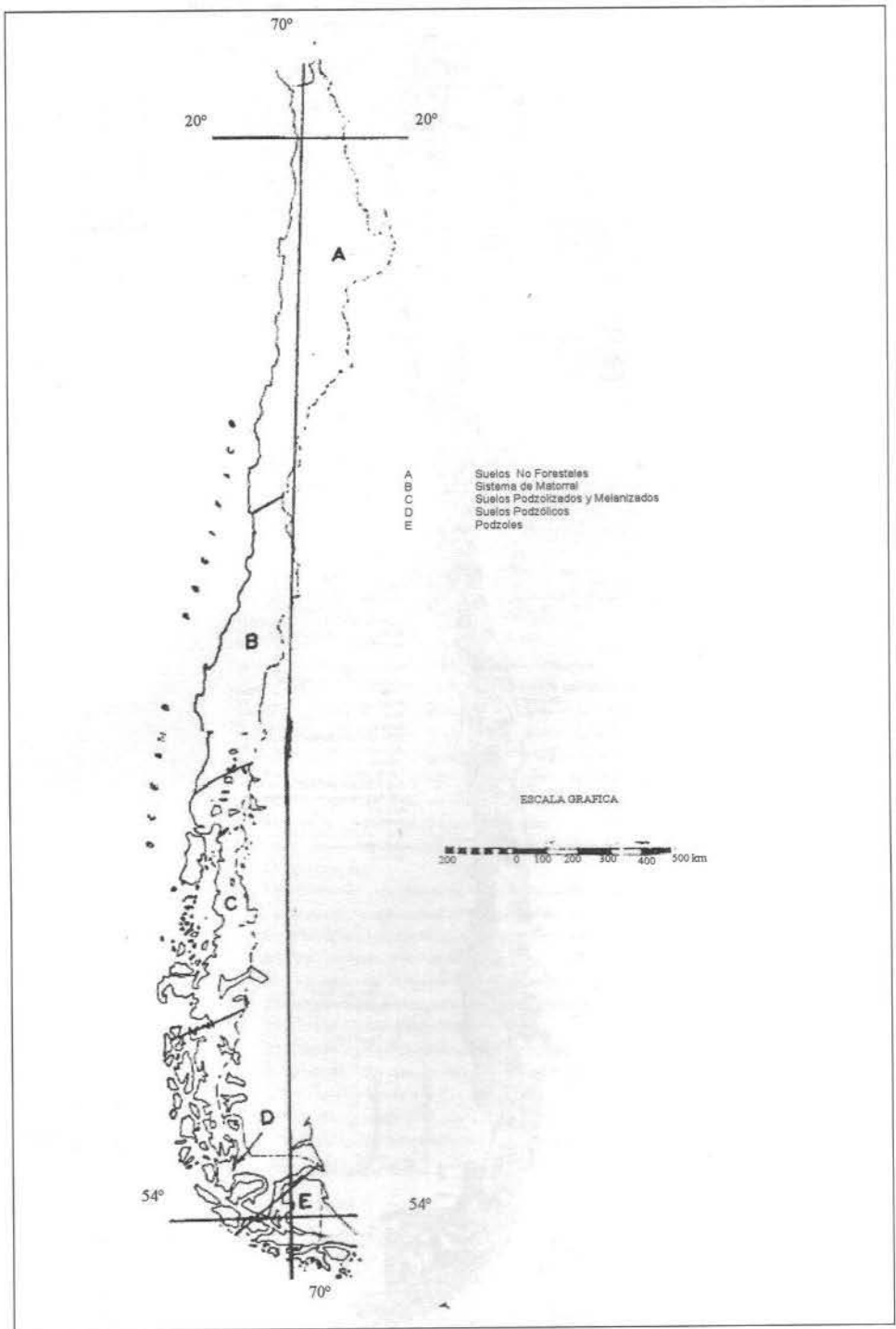


Figura 10-4. Mapa de suelos de Chile según Wilde (1946; de Díaz, 1958).

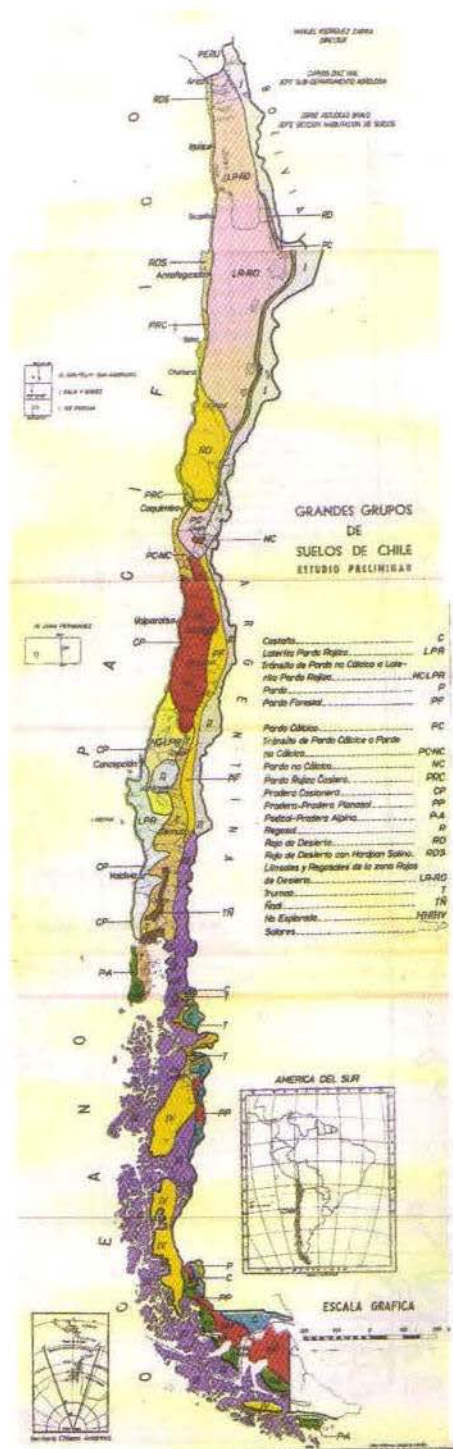


Figura 10-5. Mapa de Suelos de Chile según Roberts y Díaz (1958).



Figura 10-6. Mapa de suelos de Chile, según Luzio y Alcayaga (1992).

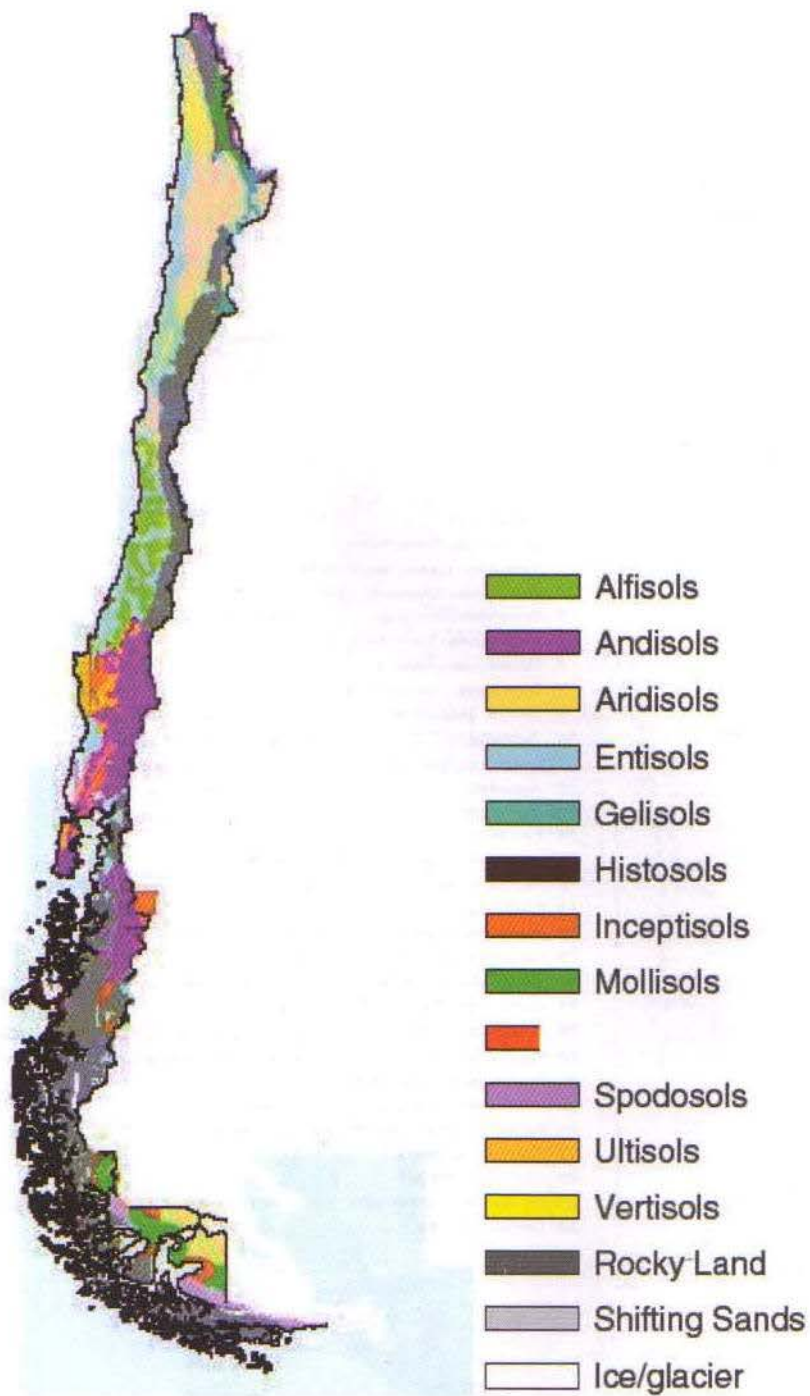


Figura 10-7. Mapa de suelos de Chile, según Soil Survey Staff (1999).

LITERATURA CITADA

- Aburto F., Hernández C., Pfeiffer M., Casanova M., Luzio W. 2008.** Northern Field-guide. The International Conference and Field Workshops on Soil Classification. IUSS-MINAGRI-U. de Chile- U. de Concepción- U. de La Serena-SChCS (Casanova M., Luzio W., Eds.). Santiago-Ovalle-Chillán. 9-18 Noviembre. 76 p.
- Ahumada M., Araya E., Kühne A., Sepúlveda M. 2004.** Guía descriptiva de praderas y suelos de la Provincia de Palena. MINAGRI, SAG. N° 17. Proyecto FNDR-SAG, X Región de Los Lagos: *Análisis y manejo de ecosistemas frágiles suelos-praderas para la provincia de Palena.* 259 p.
- Alcayaga S., Narbona M. 1969.** Reconocimiento detallado de suelos de la isla de Pascua. CORFO. Publicación Técnica N° 3. 55 p (anexos y mapas).
- Alfaro G., Frutos J., Kelm U., Miller H., Barra F., Helle S. 1994.** Marco geológico -estructural en la distribución de oro-paladio y platino en rocas ultramáficas serpentinizadas de la Cordillera de la Costa del Sur de Chile. p. 714-719. Actas 7° Congreso Geológico Chileno. Universidad de Concepción.
- Allen S.E., Heal O.W. 1970.** Soils of the maritime Antarctic zone pp. 639-696. *In:* Holdgate, M.W. (Ed.) Antarctic Ecology. Academic Press, London. V.2 998 p.
- Alonso R., Jordan T., K. Tabbutt, D. Vandervoort. 1991.** Giant evaporite belts of the Neogene central Andes. *Geology*, 19: 401- 404.
- Alvarez P. 1993.** Caracterización de suelos de la Isla Robert, Shetland del Sur (Antártica). Memoria para optar al Título de Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile. Santiago. 104 p.
- Amundson R., Jenny H. 1997.** On a state factor model of ecosystems. *BioScience*, 47: 536-543.
- Araneda M., Avendaño M., Merlo C. 2000.** Modelo gravimétrico de la Cuenca de Santiago, etapa III final. pp. 404-408. *In:* IX Congreso Geológico Chileno, Actas 2. Puerto Varas.
- Azizi G., Flenley J.R. 2008.** The last glacial maximum climatic conditions on Easter Island. *Quaternary International*, 184: 166-176.
- Baker P.E., Buckley F., Holland J.G. 1974.** Petrology and Geochemistry of Easter Island. *Contributions on Mineralogy and Petrology*, 44: 85-100.
- Baker P.E., Gledhill A., Harvey P.K., Hawkesworth C.J. 1987.** Geochemical evolution of the Juan Fernandez Islands, SE Pacific. *Journal of the Geological Society*, 144: 933-944.
- Bao H., Jenkins K., Khachatryan M., Chong Díaz G. 2004.** Different sulfate sources and their post-depositional migration in Atacama soils. *Earth and Planetary Science Letters*, 224: 577-587.
- Bentley M.J., McCulloch R.D. 2005.** Impact of neotectonics on the record of glacier and sea level fluctuations, Strait of Magellan, southern Chile. *Geografiska Annaler*, 87 A(2): 393-402.
- Berger I., Cooke R. 1997.** The origin and distribution of salts on alluvial fans in the Atacama desert, northern Chile. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22: 581-600.

- Besoain E. 1958.** Mineralogía de las arcillas de algunos suelos volcánicos de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)*, VXIII(2): 110-165.
- Besoain E. 1985.** Los Suelos. pp. 23-106. *In:* Tosso J. (Ed.). Suelos volcánicos de Chile. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, Santiago-Chile. 723 p.
- Besoain E., González S. 1978.** Relaciones mineralógicas y genéticas en algunos suelos representativos de la región central y central sur de Chile. pp. 1-37. *In:* Actas I Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo, Departamento de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción.
- Bidwell O., Hole F. 1965.** Man as a factor of soil formation. *Soil Science*, 99(2): 65-72.
- Birkeland P. 1984.** *Soils and Geomorphology*. Oxford University Press Inc. 372 p.
- Bischoff-Gauß I., Kalthoff N., Fiebig-Wittmaack M. 2006.** The influence of a storage lake in the Arid Elqui Valley in Chile on local climate. *Theoretical Applied Climatology*, 85: 227-241.
- Bockheim J., Ugolini F. C. 1990.** A review of pedogenic zonation in well-drained soils of the southern circumpolar region. *Quaternary Research*, 34: 47-66.
- Bockheim J., Gennadiyev A. 2000.** The role of soil-forming processes in the definition of taxa in Soil Taxonomy and the World Soil Reference Base. *Geoderma*, 95:53-72.
- Bockheim J., Gennadiyev A., Hammer R., Tandarich J. 2005.** Historical development of key concepts in pedology. *Geoderma*, 124: 23-36.
- Brady N., Weil R., 1996.** *The Nature and Properties of Soils*, 11th Edition. Prentice Hall, Inc, Simon and Shuster Co., New Jersey. 740 p.
- Brüggen J. 1950.** *Fundamentos de la Geología de Chile*. Instituto Geográfico Militar. 374 p.
- Buol S., Hole F., McCracken R., Southard R. 1997.** *Soil genesis and classification*. 4th Ed. Iowa State University Press, Ames. 526 p.
- Calderón M., Hervé F., Massonne J., Tassinari G., Pankhurst J., Godoy E., Theye T. 2007.** Petrogenesis of the Puerto Eden Igneous and Metamorphic complex, Magallanes, Chile: Late Jurassic syn-deformational anatexis of metapelites and granitoid magma genesis. *Lithos*, 93:17-38.
- Campbell I.B., Claridge G.G.C. 1987.** *Antarctica: Soils, weathering processes and environment*. Elsevier, Amsterdam, Holland. 368 p.
- Casanova M., Luzio W. (eds.). 2008.** International Conference and Field Workshops on Soil Classification. IUSS - MINAGRI - U. CHILE - U. CONCEPCIÓN - U. LA SERENA - SCHCS. Ovalle-Santiago-Talca-Chillán 9 -18 Nov.
- Cembrano J., Lara L. 2009.** The link between volcanism and tectonics in the southern volcanic zone of the Chilean Andes: A review. *Tectonophysics* 471: 96-113
- Cepeda J., Novoa J. 2008.** La Cordillera Altoandina de la cuenca del río Elqui. pp: 225-246. *In:* Cepeda J. (Ed.). *Los Sistemas Naturales de la cuenca del río Elqui (Región de Coquimbo, Chile): Vulnerabilidad y cambio del clima*. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena Chile.

- Cereceda P., Schemenauer R. 1991.** The occurrence of fog in Chile. *Journal of Applied Meteorology*, 30: 1.097-1.105.
- Chadwick O.A., Graham R.C. 2000.** Pedogenic processes. p. E-41 – E-75. *In: Sumner M. (Ed.). Handbook of Soil Science.* CRC Press, Washington, D.C.
- Charrier R., Muñoz N. 1997.** Geología y tectónica del Altiplano Chileno. El Altiplano. Ciencia y Conciencia en Los Andes. pp. 23-32. *In: Actas II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos.* Universidad de Chile. Vicerrectoría Académica y Estudiantil.
- CICA-HIDROCONSULT. 1980.** Estudio Agrológico del Valle del Río Huasco. Secretaría Regional de Planificación y Coordinación. SERPLAC - Atacama. 158 p.
- CIREN. 1996a.** Estudio Agrológico de la Región Metropolitana. Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación 115. Tomos I y II. 464 p.
- CIREN. 1996b.** Estudio Agrológico de la VI Región. Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación 114. Tomos I y II. 546 p.
- CIREN. 1997a.** Estudio Agrológico de la V Región. Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación 116. Tomos I y II. 359 p.
- CIREN. 1997b.** Estudio Agrológico de la VII Región. Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación 117. Tomos I y II. 586 p.
- CIREN. 1999.** Estudio Agrológico, VIII Región. Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación 121. Tomos I y II. 660 p.
- CIREN. 2002.** Estudio Agrológico, IX Región. Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación 122. 360 p.
- CIREN. 2003.** Estudio Agrológico, X Región. Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación 123. Tomos I y II. 412 p.
- CIREN. 2005a.** Estudio Agrológico de la IV Región. Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación 129. 300 p.
- CIREN. 2005b.** Estudio Agrológico de la XI Región. Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación 130. 126 p.
- CIREN. 2007.** Estudio Agrológico, Valle del Copiapó y Valle del Huasco. III Región. Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación 135. 126 p.
- Cisternas M., Frutos J. 1994.** Evolución Tectónico-Paleográfica de la Cuenca Terciaria de los Andes del Sur de Chile (37°30' – 40°30'). pp. 6-12. *In: Actas de Séptimo Congreso Geológico Chileno.* Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra.
- Clarke J. 2006.** Antiquity of aridity in the Chilean Atacama Desert. *Geomorphology*, 73: 101-114.
- Clausen J., Ortega I., Glaude C. Relyea R., Garay G. Guineo O. 2006.** Classification of wetlands in a Patagonian National Park, Chile. *Wetlands*, 26(1): 217-229.
- CNR-INIA. 1995.** Suelos y climas del valle del Huasco y sus alternativas de cultivo. Comisión

Nacional de Riego & Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Intihuasi). Proyecto: Validación de tecnologías de riego en el valle del Huasco. Cartilla Divulgativa N° 1. 12 p.

CNR. 1997. Estudio Integral de riego y drenaje de Magallanes, XII Región. Vol. 2. 443 p.

Covarrubias R. 1965. Observaciones cuantitativas sobre los invertebrados terrestres antárticos y preantárticos, XIX Expedición antártica Chilena, 1964/1965, Santiago-Chile. INACH. Publicación 9. 55 p.

Dahlgren R.A., Saigusa M., Ugolini F.C. 2004. The nature, properties and management of volcanic soils. *Advances in Agronomy*, 82: 113-182.

Damman A.W.H. 1988. Regulation of nitrogen removal and retention in Sphagnum bogs and other peatlands. *Oikos*, 51: 291-305.

Del Val E., Armesto J., Barbosa O., Christie D., Gutiérrez A., Jones C., Marquet P., Weathers K. 2006. Rain Forest Islands in the Chilean Semiarid Region: Fog-dependency, Ecosystem Persistence and Tree Regeneration. *Ecosystems*, 9: 598-608.

Díaz C. 1949. Asociación de suelos de la Isla de Pascua. *Agricultura Técnica (Chile)* IX (2): 115-126.

Díaz C. 1958a. Reconocimiento de Suelos del Valle del río Lluta. *Agricultura Técnica (Chile)* XVIII(2):305-354.

Díaz C. 1958b. Desarrollo de los estudios de suelos en Chile durante el decenio 1948-1958. *Agricultura Técnica (Chile)* XVIII(2): 59-77.

Díaz C., Meléndez E. 1958. Reconocimiento de Suelos de la Quebrada de Camarones. *Agricultura Técnica (Chile)* XVIII(2):78-109.

Díaz C., Avilés C., Roberts R. 1959-1960. Los Grandes Grupos de suelos de la provincia de Magallanes. *Agricultura Técnica (Chile)* XIX y XX: 227-308.

Díaz C., Wright C. 1965. Soils of the arid zones of Chile. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. *Soils Bulletin* N°1. 46 p. (Appendix).

Ericksen G. 1983. The Chilean nitrate deposits. *American Scientist*, 71: 366-374.

Essington M.E. 2005. Soil and water chemistry: an integrative approach. CRC Press. Boca Raton, Florida. 534 p.

Farley K.A., Basu A.R., Craig H. 1993. He, Sr and Nd isotopic variations in lavas from the Juan Fernandez Archipelago, SE Pacific. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 115:75-87.

Fauck R. 1978. Les sols des climats secs, leurs potentialité speciphiques pour la production alimentaire et les contraintes climatiques primordiales. *Plenary Papers*. p. 201-256. *In: 11th International Soil Congress*. Vol 2. Canada. ISSS.

Fernández I. 2004. Caracterización química de los suelos del Bosque de Fray Jorge. pp. 265-279. *In: Squeo, F., Gutiérrez, J., Hernández, I. (eds.). Historia Natural del Parque Nacional Bosque Fray Jorge* (Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile. 319 p.

- Filipová L., Héd R., Covacevich N.** 2008. Variability of the reference Soil Groups in the meadow wetlands in the south of the Chilean Patagonia. Abstract p: 65. In: Casanova M., Luzio W. (eds.). Proceeding: *The International Conference and Field Workshops on Soil Classification. Soil: A work of art of the nature.* 115 p.
- Flores R.** 1983. Pedogénesis de cuatro Aridisols en el secano costero de la IV Región de Chile. Tesis para optar al Grado de Licenciado en Ciencias Agrícolas, Universidad de Chile, Santiago. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Escuela de Agronomía. 61 p.
- García Paz C., Taboada-Rodríguez T.** 2008. Factors of soil formation. pp. 229-230. In: Chesworth, W. (Ed.). *Encyclopedia of Soil Science. Encyclopedia of Earth Sciences Series.* Springer. 902 p.
- Garreaud R.D., Vuille M., Clement A.** 2003. The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194: 5-22.
- Gerding V., Thiers O.** 2002. Caracterización de suelos bajo bosque de *Nothofagus betuloides* (Mirb) Blume, en Tierra del Fuego, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 75:819-833.
- González O.** 1965. El sistema volcánico de los Nevados de Payachata. *Revista Universitaria*, 1965-1966. Fascículo II:28-29.
- González-Bonorino F., Aguirre L.** 1970. Metamorphic facies series of the crystalline basement of Chile. *Geologische Rundschau*, 59: 979-994.
- González-Ferrán O., Katsui Y.** 1970. Estudio integral del volcanismo cenozoico superior de las Islas Shetland del sur, Antártica. Santiago, Chile. Instituto Antártico de Chile. Serie Científica, 1(2): 123-174.
- González O., Katsui Y., Tavera J.** 1970. Contribución al conocimiento geológico de la Península Byers de la Isla Livingston; Islas Shetland del Sur. Santiago, Chile, Instituto Antártico de Chile, Serie Científica 1(1): 41-54.
- Goudie A., Wright E., Viles H.** 2002. The roles of salt (sodium nitrate) and fog in weathering: a laboratory simulation of conditions in the northern Atacama Desert, Chile. *Catena*, 48: 255-266.
- Haberland J.** 1992. Características del suelo en algunas comunidades de tundra de la Península Coppermine, Isla Robert, Shetland del Sur (Antártica). Memoria para optar al Título de Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile. Santiago, 105 p.
- Harsh J.** 2000. Poorly crystalline aluminosilicate clays. pp. F169-F182. In: Sumner M. (Ed.). *Handbook of Soil Science.* CRC Press, Washington, D.C.
- Henríquez O.** 1994. Caracterización de suelos de la Península Byers, Isla Livingstone, Shetland del Sur (Antártica). Memoria para optar al Título de Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile. Santiago. 98 p.
- Hervé F., Araya R.** 1965. Estudio geomorfológico y geológico en las islas Greenwich y Robert, Shetland del Sur, Antártica. Tesis Geólogo, Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 221 p.
- Hillel D.** 1998. *Environmental Soil Physics.* Academic Press. San Diego, USA. 771 p.

Honorato R., Cruz G. 1999. Erodabilidad y erosión actual de los suelos de la Isla de Pascua. *Ciencia e Investigación Agraria*, 26:27-36.

Hoobs G.J. 1968. The geology of South Shetland IV. The geology of Livingston Island. *British Antarctic Science*, 47: 1-34.

Horrocks M., Wozniak J.A. 2008. Plant microfossil analysis reveals disturbed forest and a mixed-crop, dryland production system at Te Niu, Easter Island. *Journal of Archaeological Science*, 35(1): 126-142.

Houston J. 2006. Variability of precipitation in the Atacama Desert: Its causes and hydrological impact. *International Journal of Climatology*, 26: 2.181-2.198.

Houston J., Hartley A. 2003. The central andean west-slope rainshadow and its potential contribution to the origin of hyper-aridity in the Atacama Desert. *International Journal of Climatology*, 23: 1.453-1.464.

Huggett R. 2007. *Fundamentals of Geomorphology*. 2nd Ed. Routledge Fundamentals of Physical Geography Series. Gerrard J. (Ed.). Taylor & Francis Group. 466 p.

Huggett R., Cheesman J. 2002. *Topography and the Environment*. Prentice Hall. 274 p.

Hunt T.L. 2007. Rethinking Easter Island's ecological catastrophe. *Journal of Archaeological Science*, 34: 485-502.

IREN (Instituto de Recursos Naturales). 1967. Provincia de Magallanes. Inventario preliminar de los recursos naturales. Zona continental e Isla de Tierra del Fuego. Informe 21, Vol. 1. 151 p. (mapas).

IREN (Instituto de Recursos Naturales). 1976. Inventario de recursos naturales por métodos de percepción del satélite Landsat. I Región. 304 p.

IREN (Instituto de Recursos Naturales). 1982. Estudio Recursos Físicos Archipiélago Juan Fernández. Informe 45. 378 p. (anexos).

ISSS. 1988. World Reference Base for Soil Resources. International Society of Soil Sciences (ISSS). International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Working Group. World Soil Report 84. FAO. Rome. 161 p.

IUSS Working Group WRB. 2006. World reference base for soil resources. World Soil Resources Report 103. FAO, Rome. 128 p.

Jenny H. 1941. *Factors of Soil Formation: a system of quantitative pedology*. McGraw-Hill Book Company. 281 p.

Jenny H. 1961. Derivation of state factor equations of soils and ecosystems. *Soil Science Society of American Proceedings*, 25: 385-388.

Jenny H. 1980. *The soil resource, origin and behaviour*. Ecological Studies 37, Springer-Verlag, New York. 315 p.

Kühne A., Freres R. 2002. Estudio Agrológico del Valle de Chacalluta. MINAGRI- SAG. Publicación 16. Proyecto de las 1.500 hectáreas. 69 p.

Kühne A., Villarroel A., Peña I. 2005. Estudio Agrológico del área de Yungay y Ninhue, VIII Región, en el marco del Proyecto *Modelo de zonificación de Distritos de Conservación en Territorios Degradados para Planes y Programas de Conservación de Recursos Naturales*. MINAGRI, División de Protección de los Recursos Naturales Renovables, Publicación 19, 120 p.

Lamb I.M. 1970. Antarctic terrestrial plants and their ecology. pp. 733-751. *In: Holdgate M.W. (Ed.). Antarctic ecology*. Academic Press, London, England. Vol. 2.

Laveno A., Cembrano J. 2008. Deformación compresiva cuaternaria en la Cordillera Principal de Chile central (Cajón del Maipo, Este de Santiago). *Revista Geológica de Chile*, 35(2): 233-252.

Le Roux J., Olivares D., Nielsen S., Smith N., Middleton H., Fenner J., Ishman S. 2006. Bay sedimentation as controlled by regional crustal behaviour, local tectonics and eustatic sea-level changes: Coquimbo Formation (Miocene-Pliocene), Tongoy, central Chile. *Sedimentary Geology*, 184: 133 -153.

Louwagie G., Stevenson C.M., Langohr R. 2006. The impact of moderate to marginal land suitability on prehistoric agricultural production and models of adaptive strategies for Eastern Island (Rapa Nui, Chile). *Journal of Anthropological Archaeology*, 25: 290-317.

Luzio W. 1990. The soils of the desertic and arid regions of Chile. *In: Kimble, J.M. (Ed). Proceedings of the Sixth International Soil Correlation Meeting (VI ISCOM)*.

Luzio W., Badilla I., Vera W. 1978. Zonificación del sistema fitoedáfico en el secano costero de la IV Región de Chile. pp. 476-495. *In: Actas II Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo*, Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Chile. Tomo II.

Luzio W., Vera W. 1982. Caracterización de suelos en ecosistemas de la I y II Región. SACOR-CODECIAGRO. Informe para la CORFO. 126 p.

Luzio W., Vera W., Carrasco M. A. 1990. Desarrollo de suelos en condiciones desérticas frías y medioambiente antártico de Chile. pp. 271-275. *In: Proceeding de IV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Universidad de la Frontera, Temuco, Chile.

Luzio W., Alcayaga S. 1992. Mapa de Asociaciones de Grandes Grupos de Suelos de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)*, 52 (4): 347 - 353.

Luzio W., Sadsawka A., Besoain E., Lara P. 2001. Inceptisols de la Cordillera de la Costa en la X Región (40°15' - 41°00'S) de Chile. *Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(2):1-16.

Luzio W., Norambuena P., Casanova M., Vera W. 2002a. Génesis y propiedades de algunos suelos del Altiplano de Chile. *Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 2(1):35-52.

Luzio W., Sadsawka A., Besoain E., Lara P. 2002b. Ultisols con propiedades ándicas. *Boletín de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo*, 18: 344-346.

Luzio W., Sadzawka A, Besoain E, Lara P. 2003. Influencia de materiales volcánicos en la génesis de suelos rojos arcillosos. *Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 3(1):37-52.

Luzio W., Casanova M., Vera W. 2006. Génesis de suelos. pp. 21-41. *In: Luzio W. y Casanova M (eds.). Avances en el conocimiento de los suelos de Chile*. Santiago-Chile.

Luzio W., Casanova M. (Eds). 2006. Avances en el conocimiento de los suelos de Chile. Universidad de Chile-Servicio Agrícola y Ganadero. 393 p.

Mann D., Edwards J., Chase J., Beck W., Reanier R., Mass M., Finney B., Loret J.. 2008. Drought, vegetation change, and human history on Rapa Nui (Isla de Pascua, Easter Island). *Quaternary Research*, 69: 16-28.

Michel R., Schaefer C., Dias L.E., Simas F., Benites V., Mendonça E. 2006. Ornithogenic Gelisols (Cryosols) from Maritime Antarctica: Pedogenesis, Vegetation and Carbon Studies. *Soil Science Society American Journal*, 70:1.370-1.376.

Mieth A., Bork H.R. 2005. History, origin and extent of soil erosion on Easter Island (Rapa Nui). *Catena*, 63(2-3): 244-260.

Mikhailov J.S. 1999. Soils of Rapa Nui (Easter Island). *Eurasian Soil Science*, 32(11): 1.177-1.180.

Moreno H., Varela J. 1985. Geología, volcanismo y sedimentos piroclásticos cuaternarios de la región central y sur de Chile. pp. 493-528. *In:* Tosso J. (Ed). *Suelos volcánicos de Chile*. Ministerio de Agricultura – Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile.

Mortimer C., Rendic N. S. 1975. Cenozoic studies in northernmost Chile. *International Journal of Earth Sciences*, 64(1): 395-420.

Muñoz C. 2004. Geomorfología de Isla de Pascua. Memoria para optar al Título de Geógrafa. Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Escuela de Geografía. 46 p.

Navas A., López-Martínez J., Casas J., Machín J., Durán J., Serrano E., Cuchi J., Mink S. 2008. Soil characteristics on varying lithological substrates in the South Shetland Islands, maritime Antarctica. *Geoderma*, 144: 123-139.

Novoa-Jerez J., Viada-Ovalle J., López D., Squeo F. 2004. Geomorfología del Parque Nacional Bosque Fray Jorge: génesis y procesos. pp. 61-70. *In:* Squeo F., Gutiérrez J., Hernández I. (eds). *Historia Natural del Parque Nacional Bosque Fray Jorge*. Ediciones Universidad La Serena, La Serena, Chile. 319 p.

Palma T. 1993. Caracterización física y química de fierrillos de cinco suelos de ñadis de la X Región. Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. 63 p.

Paskoff R. 1970. Recherches géomorphologiques dans le Chili Semi-Aride. Bordeaux, Biscaye Frères, Imprimeurs, 18-22, Rue du Peugeot. 420 p (mapas).

Paton T.R., Humphreys G.S., Mitchell P.B. 1995. Soils. A new global view. Yale Univ. Press. New Haven, C.T. 213 p.

Pouget M., Caviedes E., Hamelin P., Remy D., Mathieu R., Lira V., Alvarez D. 1996. Ambiente árido y desarrollo sustentable. La Provincia de Limarí. Universidad de Chile y del Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación, ORSTOM. 107 p.

Richter D. 2007. Humanity's transformation of earth's soil: pedology's new frontier. *Soil Science*, 172 (12): 957-967.

- Risacher F., Fritz B. 1991.** Geochemistry of Bolivian salars, Lipez, southern Altiplano, origin of solutes and brine evolution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55: 687-705.
- Risacher F., Alonso H., Salazar C. 2003.** The origin of brines and salts in Chilean salars: a hydrochemical review. *Earth Science Reviews*, 63: 249-293.
- S.A. CORFO-UCH. 1982a.** Análisis de los ecosistemas de la I Región de Chile. Sociedad Agrícola CORFO Ltda. – Universidad de Chile. Corporación de Fomento de la Producción, Gerencia de Desarrollo. 195 p.
- S.A. CORFO-UCH. 1982b.** Análisis de los ecosistemas de la II Región de Chile. Sociedad Agrícola CORFO Ltda. – Universidad de Chile. Corporación de Fomento de la Producción, Gerencia de Desarrollo. 181 p.
- Sadzawka A. 2006a.** Propiedades físico-químicas de los suelos. I: reacción (pH), acidez y alcalinidad. p. 91-127. *In:* Luzio W. y Casanova, M. (eds.). Avances en el conocimiento de los suelos de Chile. Santiago – Chile.
- Sadzawka A. 2006b.** Propiedades físico-químicas de los suelos. II: Adsorción e Intercambio iónico. p. 129-157. *In:* Luzio W. y Casanova, M. (eds.). Avances en el conocimiento de los suelos de Chile. Santiago – Chile.
- Saillard M., Hall S., Audin L., Farber D.L., Hérail G., Martinod J., Regard V., Finkel R.C., Bondoux F. 2009.** Non-steady long-term uplift rates and Pleistocene marine terrace development along the Andean margin of Chile (31°S) inferred from ¹⁰Be dating. *Earth and Planetary Science Letters*, 277: 50 - 63.
- Salas R., Kast R., Montecinos F., Salas Y. 1966.** Geología y recursos minerales del Departamento de Arica, Provincia de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Chile. *Boletín* 21. 114 p.
- Samouëlian A., Cornu S. 2008.** Modelling the formation and evolution of soils, towards an initial synthesis. *Geoderma*, 145: 401-409.
- Schaetzl R., Anderson S. 2005.** Soils: Genesis and Geomorphology. Cambridge University Press. 817 p.
- Schemenauer R., Cereceda P. 1991.** The quality of fog water collected for domestic and agricultural use in Chile. *Journal of Applied Meteorology*, 31: 275-290.
- Schuller P., Ellies A., Lovengreen Ch., Vega M. 1990.** Concentración de Cs¹³⁷ en dos perfiles de suelos del Archipiélago Shetland del Sur. pp. 259-263. *In:* Proceeding de IV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Universidad de la Frontera, Temuco, Chile.
- Searl A., Rankin S. 1993.** A preliminary petrographic study of the Chilean nitrates. *Geological Magazine*, 130(3): 319-333.
- Servicio Agrícola y Ganadero (Chile) 2002.** Estudio Agrológico Valle de Chacalluta. Departamento de Protección de los Recursos Naturales Renovables. Publicación 16. 68 p. (mapas).
- Shoji S, Nanzyo M., Dahlgren R. 1993.** Volcanic ash soil: Genesis, properties and utilization. *Developments in Soil Science* 21. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 288 p.
- Sillitoe R.H., Mortimer C., Clark A. 1968.** A chronology of landform evolution and supergene

mineral alteration, southern Atacama Desert, Chile. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, 77: 166-169.

Simas F., Schaefer C., Melo V., Albuquerque-Filho M., Michel R., Pereira V., Gomes M., da Costa L. 2007. Ornithogenic cryosols from Maritime Antarctica: Phosphatization as a soil forming process. *Geoderma*, 138: 191-203.

Simonson R.W. 1995. Airborne dust and its significance to soils. *Geoderma*, 65:1-43.

Smeck N., Runge E., Mackintosh E. 1983. Dynamics and genetic modelling of soil systems. pp. 51-81. *In: Wilding, L.P., Smeck, N. E., Hall, G.F. (eds.). Pedogenesis and soil taxonomy I. Concepts and interactions.* Elsevier Science Publishers B.V., The Netherlands.

Soil Survey Staff, 1987. Keys to Soil Taxonomy. (3th printing) SMSS Technical Monograph 6. Ithaca, New York.

Soil Survey Staff, 1999. Soil Taxonomy. Natural Resources Conservation Service. USDA. Agriculture Handbook 436, 2nd edit. 869 p.

Soil Survey Staff, 2003. Keys to Soil Taxonomy. Natural Resources Conservation Service. USDA, 9th edit. 332 p.

Soil Survey Staff, 2006. Keys to Soil Taxonomy. Natural Resources Conservation Service. USDA, 10th edit. 332 p.

Squeo F., Warner B., Aravena R., Espinoza D. 2006. Bofedales: high altitude peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural*, 79: 245-255.

Stevenson C.M., Wozniak J., Hao S. 1999. Prehistoric agricultural production on Easter Island (Rapa Nui), Chile. *Antiquity*, 73: 801-812.

Stevenson C.M., Jackson T.L., Mieth A., Bork H.-R., Ladefoged T.N. 2006. Prehistoric and early historic agriculture at Maunga Orito, Easter Island (Rapa Nui), Chile. *Antiquity*, 80: 919-936.

Stolpe N., Zagal E., Sandoval M., C. Quezada. 2008. Southern Field-guide. The International Conference and Field Workshops on soil classification. IUSS-MINAGRI- U. de Chile- U. de Concepción- U. de La Serena-SChCS. (Casanova M., Luzio W., eds.). Santiago-Ovalle-Chillán. 9-18 noviembre. 94 p.

Stuessey TF, Foland KA, Sutter JF, Sanders RW, Silva OM. 1984. Botanical and geological significance of K-Ar dates from the Juan Fernandez Islands. *Science*, 225: 49-51

Takahashi T., Dahlgren R., van Susteren P. 1993. Clay mineralogy and chemistry of soils formed in volcanic materials in the xeric moisture regime of northern California. *Geoderma*, 59:131-150.

Tan K. 1993. Principles of soil chemistry. Second Ed. N.Y. USA. 362 p.

Tan K. 2000. Environmental soil science. (2nd edition, revised and expanded). Marcel Dekker, Inc. Books in soils, plants, and the environment; Vol. 74. 452 p.

Targulian V. 2005. Elementary pedogenic processes. *Eurasian Soil Science*, 38(12): 1.255-1.264.

- Tarnocai C., Broll G., Blume H. 2004.** Classification of permafrost-affected soils in the WRB. pp. 637-657. *In:* Kimble, J.M. (Ed.). *Cryosols: Permafrost Affected Soils*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Tosso J. 1985.** Suelos volcánicos de Chile. Instituto Nacional Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile. 723 p.
- Trenhaile A.S. 1998.** *Geomorphology: A Canadian Perspective*. Toronto, Oxford University Press.
- Troncoso R., Cisternas M.E., Alfaro G., Vukasovic M. 1994.** Antecedentes sobre volcanismo terciario, Cordillera de la Costa, X Región. pp. 205-209. *In:* Actas 7º Congreso Geológico Chileno. Universidad de Concepción.
- Tugel A., Eric J. E., Brown J. R., Mausbach M. J., Puckett W., Hipple K. 2005.** Soil change, soil survey, and natural resources decision making. A blueprint for action. *Soil Science Society American Journal*, 69: 738-747.
- Ugolini F.C. 1972.** Ornithogenic soils of Antarctica. American Geophysical Union, Washington, USA. *Antarctic Research Series*, 20: 181-193.
- Ugolini F.C., Bockheim J.G. 2008.** Antarctic soils and soil formation in a changing environment: a review. *Geoderma*, 144: 1-8.
- Van Wambeke A. 1981.** Soil Moisture and Temperature Regimes of South America. SMSS Technical Monograph 2. 25 p.
- Van Wambeke A. 1985.** Asia Soil Moisture Regimes. SMSS Technical Monograph 9. 144 p.
- Van Wambeke A. 1992.** *Soils of the tropics*. McGraw-Hill, New York. 343 p.
- Van Wambeke A., Luzio W. 1982.** Determinación de los regímenes de humedad y temperatura de los suelos de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)*, 42(2): 149-159.
- Vaughan D. G., Spouge J. R. 2002.** Risk estimation of collapse of the West Antarctic ice sheet. *Climatic Change*, 52: 65-91.
- Veit H. 1993.** Upper Quaternary landscape and climate evolution in the Norte Chico (Northern Chile): An overview. *Mountain Research and Development*, 13(2): 139-144.
- Vera W. 1990.** Morfología de suelos de áreas periglaciales en Torres del Paine y las Islas Shetland del Sur. pp. 264-270. *In:* Proceeding de IV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Universidad de la Frontera, Temuco, Chile.
- Vuille M. 1999.** Atmospheric circulation over the Bolivian Altiplano during dry and wet periods and extreme phases of the southern oscillation. *International Journal of Climatology*, 19: 1.579-1.600.
- Willan R. 1992.** Preliminary field observation on peperites and hydrothermal veins and breccias on Livingston Island. South Shetland Islands. *Antarctic Sciences*, 4(1): 109-110.
- Wright C. 1965.** The volcanic ash soils of Chile. FAO Report 2017, Rome, Report CHI/TE/LA. 201 p. (maps).

Wright C., Meléndez E. 1961. Estudio de suelos de la parte inferior del Valle de Azapa. Publicación Mimeo. Dirección General de Producción Agraria y FAO. Santiago, Chile. 71 p.

Wright C., Diaz C. 1962. Soils and agricultural development of Easter Island (Pascua), Chile. Quarterly Report Supplement Number 1. Ministry of Agriculture, Santiago, Chile.

Wysocki DA. A., Schoeneberger P.J., Lagarry H.E. 2000. Geomorphology of Soil Landscape, pp. E5-E39. *In*: Sumner, M.(Ed.). Handbook of Soil Science. CRC Press. Washington D.C.

Yaalon D. 1983. Climate, time and soil development. pp. 233-251 *In*: Wilding, L.P., Smeck, N. E., Hall, G.F. (eds.). Pedogenesis and Soil Taxonomy: I. Concepts and Interactions, Elsevier, NY.

Yaalon D., Yaron B. 1966. Framework for man-made soil changes—an outline of metapedogenesis. *Soil Science*, 102 (4): 272-277.

Zak D.R., Grigal D.F. 1991. Nitrogen mineralization, nitrification and denitrification in upland and wetland ecosystems. *Oecologia*, 88: 189-196.

Zhu R., Liu Y., Ma E., Sun J., Xu H., Sun L. 2009. Greenhouse gas emissions from penguin guanos and ornithogenic soils in coastal Antarctica: Effects of freezing–thawing cycles. *Atmospheric Environment*, 43: 2.336-2.347.



En Suelos de Chile, se hace una revisión detallada de las características de los suelos del territorio continental del país, desde el límite norte hasta la Antártica, incluyendo una parte del territorio insular, Isla de Pascua y el Archipiélago de Juan Fernández.

La información acerca de los suelos, sistematizada y ubicada en un contexto geográfico y geomorfológico, proviene de los estudios agrológicos publicados por organismos públicos y privados, pero además se incorpora una gran cantidad de antecedentes inéditos de los autores de los capítulos.

La introducción del concepto de Zona Edáfica, dentro de la cual los suelos se analizan en función de la fisiografía y la posición que ocupan en el paisaje, permite al lector ubicar con facilidad la información requerida sobre los suelos de una determinada área. Las fotografías de los suelos y de los paisajes asociados complementan con eficacia el texto y las descripciones que se hacen de este frágil y escaso recurso natural no renovable.

Suelos de Chile

Walter Luzio L.
(Editor)

Departamento de Ingeniería y Suelos
Facultad de Ciencias Agronómicas

Universidad de Chile

(2010)

UNIVERSIDAD DE CHILE



3 5601 15167 6966

ISBN:

9 789561 1906400