

5. SUELOS Y CULTIVOS EN RELACIÓN A METALES PESADOS.

5.1. Zonificación Agrícola de Chile.

Con el fin de asociar casos de suelos con cultivos del país se definieron seis zonas agroecológicas. Dentro de ellas se identificaron suelos que llamaremos típicos, cuyas descripciones y características fueron seleccionadas de información proporcionada por la División de Recursos Naturales del SAG.

El propósito de definir suelos típicos para cada zona fue identificar perfiles contrastantes en sus características físicas y químicas dentro de cada zona y entre zonas. De esta forma se pueden desarrollar modelos de interacción suelo-metales pesados- cultivo para diferentes situaciones. La aplicación de criterios de calidad de suelo, particularmente de toxicidad con metales pesados, debe considerar que la heterogeneidad climática, edáfica y agrícola interactúa en cada localidad produciendo condiciones específicas. Los autores estiman que sería un error establecer en Chile indicadores e índices de calidad de suelos que sean únicos para todo el país, como ha ocurrido en otros países de menor diversidad agroecológica.

Si bien es cierto, los suelos presentan variaciones espaciales, la escala de trabajo de esta propuesta es amplia, por lo que para modelar la biodisponibilidad potencial de los metales pesados y su efecto sobre los cultivos toma casos particulares de perfiles de suelo dentro de diferentes subgrupos de suelo.

Las zonas agroecológicas definidas fueron:

- Zona norte (ZN).
- Zona del secano de la Cordillera de la Costa de Chile central (ZSCCC).
- Zona central de riego (ZCR).
- Zona de la precordillera centro-sur (ZPCS).
- Zona del secano interior de la Cordillera de la Costa sur (ZSICCS) .
- Zona húmeda del sur (ZHS)

5.1.1. Zona Norte.

5.1.1.1. Suelos típicos de la zona Norte.

Los suelos de la zona norte se caracterizan por presentar escaso desarrollo del perfil, se han formado a partir de rellenos aluvio-coluviales bajo un régimen de humedad arídico y presentan un epipedón ócrico. Los principales órdenes son Entisoles y Aridisoles (Taxonomía de Suelos, USDA, 1999). Los suelos agrícolas de esta zona se ubican preferentemente en los valles regados desde la IV hasta la I Región del país.

Los perfiles utilizados en el trabajo para la Zona Norte (pedones de las series Camarones, Apacheta y Loa) corresponden a los subgrupos Typic Torrifluvents, Typic Torriorthents y Vertic Haplocambids. Los dos primeros subgrupos son del orden Entisol, caracterizados por la ausencia de horizontes diagnósticos o sólo la presencia de un epipedón ócrico; pertenecen a los subórdenes Fluvents y Orthents. Los Fluvents son principalmente de colores pardo, formados en depósitos recientes de materiales aluviales (planicies de inundación, abanicos y deltas). No presentan drenaje restringido, son frecuentemente estratificados, las estratas arcillosas o francas comúnmente presentan mayor contenido de carbono orgánico que las estratas arenosas suprayacentes, por lo que el carbono holocénico (reciente formado, en los últimos 11000 años) se distribuye irregularmente en el perfil (USDA, 1999; USDA, 2003). Los Orthents son Entisoles desarrollados en superficies recientes de erosión geológica o acelerada. El suelo desarrollado previamente ha sido removido completamente o se han truncado los horizontes diagnóstico. Presentan texturas franco arenosas finas o muy finas, 35% (volumen) o más de fragmentos rocosos en algunas capas. El carbono orgánico holocénico decrece regularmente en profundidad, alcanzando un nivel de 0,2% o menos a los 125 cm. Tanto los perfiles Fluvents como los Orthents considerados (pedones Camarones y Apacheta) presentan un régimen de humedad arídico o tórrico con un régimen de temperatura mayor que críico y pertenecen a los grandes grupos Torrifluvents y Torriorthents.

El tercer subgrupo corresponde al orden Aridisol, que se ha desarrollado bajo un régimen de humedad de no disponibilidad de agua para plantas mesófitas por largos períodos. El agua normalmente se encuentra bajo el punto de marchitez permanente, o bien el contenido de sales permite sólo el desarrollo de plantas halófitas. El problema fundamental de estos suelos es disponer de agua de buena calidad para el riego y contar

con sistemas de drenaje que permitan el lavado de las sales solubles. El suborden Cambids, al que pertenecen los perfiles de suelos del tercer subgrupo tiene un mayor grado de desarrollo al presentar un horizonte cámbico dentro de los primeros 100 cm de profundidad, también pueden presentar otros horizontes diagnóstico pero bajo los 100 cm. El subgrupo Vertic Haplocambids (pedon Loa) presenta propiedades vérticas con grietas dentro de los 125 cm superficiales de 5 mm o más de ancho por un espesor de 30 cm o más, con *slickensides* o agregados en cuña (USDA, 1999; USDA, 2003).

5.1.1.2. Cultivos típicos de la zona Norte.

El **Cuadro 5.1.1**, muestra que las plantaciones frutales ocupan la mayor superficie productiva, seguidas por cultivos anuales, hortalizas y forrajeras, viñas y plantaciones forestales. Los cultivos de frutales que ocupan la mayor superficie plantada son la uva de mesa, seguida del olivo y los cítricos. Las viñas y parrones viníferos corresponden principalmente a cepas pisqueras que ocupan el 96,5 % del área plantada en formación y producción. En relación a la producción animal, los caprinos son el principal rubro de la zona (**Cuadro 5.1.2**). Los cultivos anuales más importantes en relación a la superficie sembrada de la zona son papa, seguido de cereales de invierno, principalmente trigo blanco, porotos, arvejas y maíz de grano. Respecto a las hortalizas, la mayor superficie corresponde a solanáceas, principalmente pimiento y tomate, seguido de hortalizas de tallo y hoja, principalmente alcachofa y apio, maíz choclero y cucurbitáceas como zapallito italiano. La forrajera más cultivada de la zona norte es la alfalfa (88,6 %). Finalmente, el rubro forestal se concentra hacia el sur, destacando las plantaciones de eucaliptus.

Cuadro 5.1.1. Distribución de la superficie productiva zona Norte

| Actividad | Superficie productiva (ha) | Porcentaje superficie |
|------------------|----------------------------|-----------------------|
| Cultivos Anuales | 13 046 | 16,5 |
| Hortalizas | 12 041 | 15,2 |
| Viñas | 11 049 | 13,9 |
| Frutales | 25 112 | 31,7 |
| Forrajeras | 12 083 | 15,2 |
| Forestales | 5 949 | 7,5 |
| Total | 79 280 | 100,0 |

Fuente: Modificado de ODEPA (2002) a partir de la información del VI Censo Nacional Agropecuario, INE 1997.

Cuadro 5.1.2. Distribución del número de cabezas de ganado zona Norte

| Producción Animal | Cabezas (Nº) | Porcentaje ganado |
|-------------------|----------------|-------------------|
| Bovinos | 50 543 | 5,3 |
| Vacas Lecheras | 4 770 | 0,5 |
| Ovinos | 141 565 | 14,8 |
| Caprinos | 627 558 | 65,6 |
| Cerdos | 14 620 | 1,5 |
| Camélidos | 117 940 | 12,3 |
| Total | 956 996 | 100,0 |

Fuente: Modificado de ODEPA (2002) a partir de la información del VI Censo Nacional Agropecuario, INE 1997.

5.1.2. Zona del secano de la Cordillera de la Costa de Chile Central.

5.1.2.1. Suelos típicos de la zona del secano de la Cordillera de la Costa de Chile Central.

Esta zona se extiende por el secano costero e interior de la Cordillera de la Costa desde la V hasta la VIII Región. Los suelos de la Cordillera de la Costa, de Constitución al norte, pertenecen en su gran mayoría a Alfisoles, son de origen granítico, ricos en cuarzo, y en los sectores altos de la vertiente occidental de Cordillera de la Costa, hacia el sur, son de origen metamórfico. Los suelos de esta zona son, por lo general, pobres en materia orgánica con pendientes pronunciadas a escarpadas, susceptibles a la erosión, de textura franco arcillo arenosa a arcillosa, presentando un subsuelo arcilloso de permeabilidad lenta y un substrato de roca descompuesta con escasa cohesión (saprolita), características que favorecen el escurrimiento superficial de agua y la formación de cárcavas, particularmente en los suelos originados a partir de materiales granitoides y canalículos activos de erosión. El pH es medianamente ácido (5,5 – 6.0). Hacia el litoral es posible encontrar por lo menos tres niveles de terrazas marinas, en las que se han desarrollado suelos de origen sedimentario generalmente profundos y de texturas medias (Peralta, 1976).

Los perfiles utilizados en este estudio (pedones Lo Vasquez, Constitución y Chanco) corresponden a los subgrupos Ultic Haploxeralfs, Typic Rhodoxeralfs, y Ultic Argixerolls. Los dos primeros subgrupos pertenecen al orden Alfisol y representan gran parte de los suelos del secano de la Cordillera de la Costa Central, el tercer subgrupo corresponde al orden Mollisol (pedón Chanco) y es característico de la zona de la planicies litorales , al poniente de la Cordillera de la Costa Central.

El suborden Xeralfs corresponde a Alfisoles característicos de climas mediterráneos, con un régimen de humedad xérico; el régimen de temperaturas puede ser térmico, mésico o frígido. Los suelos del gran grupo Haploxeralfs tienen un horizonte argílico o kándico dentro de los primeros 150 cm, no presentan un horizonte nátrico, tampoco un duripán o fragipán dentro de los primeros 100 cm, la plintita no constituye una fase continua, no presentan horizonte petrocálcico dentro de los primeros 150 cm. El subgrupo Ultic Haploxeralfs lo constituyen suelos con una saturación de bases menor a 75% en algún horizonte dentro de los 75 cm por sobre el límite superior del horizonte argílico o kándico.

Pueden tener un horizonte A con el valor del color menor a 3 en húmedo y 0,7% o más de carbono orgánico.

El perfil específico utilizado (Lo Vasquez) para modelar la biodisponibilidad de metales pesados en este subgrupo es un miembro de la Familia franca fina, mixta, térmica de los Ultic Haploxeralfs. Esta Familia ocupa la posición de cerros en la Cordillera de la Costa de la región Central de Chile. Las pendientes dominantes son de 20 a 50%. Es un suelo evolucionado derivado de rocas graníticas, moderadamente profundo a profundo, de color pardo rojizo oscuro en el matiz 5YR y textura franco arcillo arenosa en la superficie, arcillosa en profundidad, con un contenido de casquijos de cuarzo que se incrementa junto con la proximidad de la roca descompuesta, donde toma un color rojizo amarillento en el matiz 5YR y pardo amarillento oscuro en el matiz 7.5YR, siendo la textura arcillo arenosa. Los materiales se encuentran bien estructurados en los primeros 40 a 50 cm y no presentan estructuras en profundidad. El substrato está constituido por rocas graníticas descompuestas. En relación a la geomorfología, ocupa una posición intermedia, en base rocosa o comienzo de sedimentación, con relieve ondulado a quebrado. La pluviometría varía de 400 a 700 mm anuales. La vegetación natural corresponde al matorral costero arborescente y a la estepa de *Acacia caven*. El drenaje externo es moderadamente rápido y el drenaje interno es medio. En general el grado de erosión es fuerte.

El segundo subgrupo de suelos pertenece al gran grupo Rhodoxeralfs, caracterizado por presentar colores con matiz 2,5YR o más rojo, valor en húmedo igual o menor a 3 y valor en seco no mayor a una unidad del valor en húmedo. El subgrupo Typic Rhodoxeralfs, presenta un horizonte argílico o cándico de más de 15 cm de espesor y es horizontal en cada pedón, no hay contacto lítico dentro de los 50 cm de suelo mineral, no presenta horizonte cálcico o petrocálcico dentro de los primeros 150 cm y no presenta grietas importantes dentro de los 125 primeros cm.

El perfil específico utilizado (pedón Constitución) para modelar la biodisponibilidad de metales pesados corresponde a la Familia fina, mixta, isomésica de los Typic Rhodoxeralfs. Corresponde a un suelo profundo, desarrollado "in situ" a partir de rocas metamórficas, especialmente pizarras (filitas), bien evolucionado; de textura franco arcillo arenosa de color pardo rojizo oscuro en la superficie y textura arcillo limosa, de color pardo rojizo oscuro a rojo en el matiz 2.5YR en profundidad. Descansa sobre un substrato constituido por rocas metamórficas muy meteorizadas con matriz arcillosa que permite el desarrollo radicular en profundidad. Ocupa preferentemente el sector más alto y vertiente

occidental de la Cordillera de la Costa. Por las favorables características del perfil, textura, estructura, porosidad y permeabilidad no se observa erosión hídrica. Son suelos que tienen muy buena aptitud para plantaciones forestales.

El subgrupo Ultic Argixerolls, pertenece al orden Mollisol. Los mollisoles presentan colores muy oscuros y son ricos en bases, presentan un epipedón mólico, muchos también tienen horizontes argílicos, nátricos o cálcicos. El suborden Xeroll es típico en climas mediterráneos y su nombre implica que generalmente tienen un régimen de humedad xérico. Además, presentan un epipedón mólico relativamente grueso, un horizonte cámbico o argílico y una acumulación de carbonatos en la parte basal del horizonte B, son de pH neutro en la mayoría de los horizontes. Los Argixerolls presentan un horizonte argílico delgado o uno en que hay una rápida disminución en el contenido de arcilla en profundidad. El horizonte argílico es pardo oscuro. La mayoría de los Argixerolls se formaron en el pleistoceno medio o temprano sobre superficies de edad terciaria. Los Ultic Argixerolls tienen una saturación de bases menor o igual a 75% en uno o más horizontes entre el Ap o bajo los primeros 25 cm hasta una profundidad de 75 cm o contacto dénsico, lítico o paralítico (USDA, 1999; USDA, 2003).

El perfil específico utilizado (pedón de la serie Chanco) para modelar la biodisponibilidad de metales pesados es un miembro de la Familia fina, mixta, térmica, de los Ultic Argixerolls. Suelo sedimentario, profundo, de textura franco limosa y color pardo rojizo muy oscuro en la superficie; texturas franco arcillo limosa y arcillo limosa y de colores pardo rojizo oscuro. Todos los colores en el matiz 5YR. Descansa sobre un substrato de arenisca meteorizada rica en cuarzo. Ocupa una posición de terraza marina con topografía suavemente ondulada a ondulada. Suelo bien estructurado, de permeabilidad moderada y de buen drenaje. Presenta buena actividad biológica y desarrollo radicular en todo el perfil.

5.1.2.2. Cultivos típicos de la zona del secano de la Cordillera de la Costa de Chile Central.

Esta zona se caracteriza por presentar aptitud forestal, reflejada en 1.030.994 hectáreas plantadas hasta el último censo agropecuario de 1997. El **Cuadro 5.1.3** muestra que los cultivos anuales ocupan la mayor superficie productiva después de las plantaciones forestales, luego las forrajeras y las viñas. El cultivo de frutales y hortalizas tiene una importancia secundaria.

Cuadro 5.1.3. Distribución de la superficie productiva en zona del secano de la Cordillera de la Costa de Chile Central.

| Actividad | Superficie productiva (ha) | Porcentaje superficie |
|------------------|----------------------------|-----------------------|
| Cultivos Anuales | 107 752 | 8,7 |
| Hortalizas | 10 152 | 0,8 |
| Viña | 29 509 | 2,4 |
| Frutales | 15 197 | 1,2 |
| Forrajeras | 40 357 | 3,3 |
| Forestal | 1 030 994 | 83,6 |
| Total | 1 233 961 | 100,0 |

Fuente:ODEPA (2002) a partir de la información del VI Censo Nacional Agropecuario, INE 1997.

Los cultivos anuales más importantes en relación a la superficie sembrada de la zona son cereales de invierno, en particular trigo panadero, le sigue la papa, el maíz, y leguminosas como porotos, garbanzos y lentejas. Respecto a las hortalizas, la mayor superficie sembrada corresponde a solanáceas y hortalizas de tallo y hoja, particularmente tomate y lechuga, respectivamente. Otro grupo de hortalizas importantes son las cucurbitáceas, principalmente melón y las hortalizas de raíz, principalmente zanahoria. Las viñas y parrones viníferos más cultivados son las cepas “país”, seguido de las cepas blancas y finalmente las tintas. Los cultivos de frutales que ocupan la mayor superficie plantada son palto, uva de mesa, limonero y manzano. Las forrajeras más cultivadas son alfalfa, avena forrajera, arveja forrajera, trébol rosado y maíz de silo. Los cultivos forestales más extendidos son el pino insigne y el eucaliptus.

En relación a la producción animal, los bovinos y ovinos son los principales rubros de la zona (**Cuadro 5.1.4**).

Cuadro 5.1.4. Distribución del número de cabezas de ganado zona del secano de la Cordillera de la Costa de Chile central

| Producción Animal | Cabezas (Nº) | Porcentaje ganado |
|-------------------|------------------|-------------------|
| Bovinos | 432 106 | 34,5 |
| Vacas Lecheras | 32 307 | 2,6 |
| Ovinos | 378 118 | 30,2 |
| Caprinos | 160 104 | 12,8 |
| Cerdos | 248 385 | 19,8 |
| Camélidos | 1 493 | 0,1 |
| Total | 1 252 513 | 100,0 |

Fuente:ODEPA (2002) a partir de la información del VI Censo Nacional Agropecuario, INE 1997.

5.1.3. Zona Central de riego.

5.1.3.1. Suelos típicos de la zona Central de riego.

Esta zona comprende los valles transversales de las Regiones V y Metropolitana y la depresión intermedia de las Regiones VI, VII y VIII. El clima es mediterráneo, la precipitación varía de norte a sur, con 370 mm en Santiago y 1.300 mm en Los Angeles. La temperatura media anual varía entre 13,1 y 14,7°C. El período libre de heladas varía entre 350 y 200 días (Santibáñez y Uribe, 1993).

En los valles transversales situados al norte de esta zona dominan los suelos de origen aluvial, Inceptisoles y Mollisoles, con contenidos de materia orgánica media a baja, pH ligeramente alcalino, densidad aparente de $1,7 \text{ g cm}^{-3}$, textura franco arenosa a franco arcillosa. Más al sur los suelos aluviales muestran una tendencia del pH a disminuir y un ligero aumento en los tenores de materia orgánica (Del Pozo y del Canto, 1999). Hacia el poniente, y limitado por los faldeos de la Cordillera de la Costa, es frecuente encontrar amplios sectores depresionales, de drenaje restringido, muchos de los cuales corresponden a lechos de antiguos lagos que dan origen a suelos arcillosos. Estos suelos presentan características vérticas, y poseen un tipo predominante de arcilla expandible del tipo montmorillonita. Hacia el norte de esta zona los suelos depresionales suelen presentar un contenido elevado de sales, debido a características más áridas. Hacia el

oriente de la VII Región aparecen suelos Andisoles, derivados de materiales volcánicos, ocupando posiciones planiformes, mezclados o descansando sobre materiales aluviales. Los Andisoles del valle central (pedones Diguillín, Arrayán y Humán), corresponden a suelos profundos, de textura media, de baja densidad aparente ($0,8 \text{ g cm}^{-3}$) y humedad aprovechable de $552 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. El pH varía entre 5,8 y 6,2, la materia orgánica es alta (13 %). Presentan niveles bajos a medios de fósforo, altos en potasio y adecuados en calcio (Del Pozo y del Canto, 1999).

Los perfiles típicos utilizados (pedones de las series Santiago, Arrayán, Quella y Batuco) corresponden a los subgrupos Entic Haploxerolls (Mollisol), Typic Melanoxerands (Andisol), Leptic Haploxererts (Vertisol) y Halic Haploxererts (Vertisol).

Los Entic Haploxerolls, pertenecen al suborden Xeroll, descrito en el punto 5.1.2.1. El gran grupo de los Haploxerolls se caracteriza por un escaso desarrollo del subsuelo, no presentan mal drenaje, y comúnmente tienen un horizonte cámbico bajo el epipedón mólico. Muchos tienen horizontes con acumulación de carbonatos secundarios y parte de los horizontes superficiales tienen carbonatos libres. Los Haploxerolls no tienen duripán en los primeros 100 cm de suelo mineral, tampoco tienen horizonte petrocálcico, cálcico o gípsico en los primeros 150 cm, y no presentan horizontes nátrico o argílico. El subgrupo Entic Haploxerolls tiene carbonatos libres en el horizonte cámbico o no tiene horizonte cámbico, pero hay presencia de carbonatos libres en el epipedón mólico bajo los primeros 25 cm de suelo mineral (USDA, 1999; USDA, 2003).

El perfil específico utilizado para modelar la biodisponibilidad de metales pesados (pedón de la serie Santiago) es un miembro de la Familia franca gruesa sobre arenosa esquelética, mixta, térmica de los Entic Haploxerolls.

Los Typic Melanoxerands pertenecen al orden Andisol. El orden Andisol comprende suelos desarrollados a partir de materiales volcánicos (ceniza, pumicita, lapilli y lava) y/o materiales volcanoclásticos. La fracción coloidal se encuentra dominada por minerales de ordenamiento corto (alofan, imogolita y ferrihidrita) y complejos Al-húmicos. El suborden Xerands es más o menos bien drenado, presenta un régimen de humedad xérico y un régimen térmico frígido, mésico o térmico. En forma característica los Xerands tienen un epipedón ócrico o mólico y un horizonte cámbico. El gran grupo Melanoxerands presenta un epipedón melánico. El subgrupo Typic Melanoxerands no tiene más de un 6% de

carbono orgánico, tampoco tiene los colores del epipedón mólico en los 50 primeros cm del suelo.

El perfil específico utilizado para modelar la biodisponibilidad de metales pesados (pedón de la serie Arrayán) es un miembro de la Familia medial, térmica de los Typic Melanoxerands.

Los Leptic Haploxererts pertenecen al orden Vertisol. El orden Vertisol se caracteriza por presentar texturas arcillosas con grietas amplias durante parte del año y presencia de *slickensides* dentro de los 100 cm superficiales de suelo mineral. Los vertisoles tienen la capacidad de expandirse y contraerse debido a un tipo especial de mineral arcilloso (2:1 y 2:2). Son adhesivos cuando están mojados y duros en seco. El suborden Xererts es característico de climas mediterráneos. Estos suelos tienen grietas cerradas y/o abiertas durante el año. Además estos suelos no presentan horizonte dentro de los 50 cm superficiales de suelo mineral. El gran grupo Haploxererts no presenta horizonte cálcico, petrocálcico o duripán dentro de los primeros 100 cm superficiales de suelo mineral. El subgrupo Leptic Haploxererts (pedón de la serie Quella) presenta un contacto dénsico, lítico o paralítico dentro de los 100 cm superficiales de suelo mineral, pero no presenta contacto lítico sobre los 50 cm superficiales. Tampoco presenta cantidades significativas de sales.

El subgrupo Halic Haploxererts (pedón de la serie Batuco) tiene cantidades significativas de sales y no presenta un contacto lítico dentro de los primeros 50 cm superficiales de suelo mineral.

5.1.3.2. Cultivos típicos de la zona Central de riego.

La zona central de riego presenta una intensa actividad agropecuaria, destacando los cultivos anuales que aumentan su presencia hacia el sur de la zona. Otros rubros de gran importancia económica en esta zona y del país son los frutales y las viñas, cuyo destino es principalmente la exportación de frutos frescos y la elaboración de vinos. También existe una importante superficie ocupada por plantaciones forestales y forrajeras, pero de relevancia económica secundaria (**Cuadro 5.1.5**). En relación a la producción animal, los cerdos y bovinos son los principales rubros de la zona (**Cuadro 5.1.6**).

Los cultivos anuales más importantes en relación a la superficie sembrada de la zona son los cereales principalmente trigo panadero y maíz de grano, le siguen en orden de

importancia la remolacha azucarera, los porotos, el arroz, el trigo candeal, la avena y la papa (más de 14 000 ha sembradas). Respecto a las hortalizas, la mayor superficie sembrada corresponde a tomates, luego maíz choclero, cebollas, zapallos, espárragos, lechuga, sandía, melón y zanahorias (más de 2 000 ha). Las viñas y parrones viníferos más cultivados son las cepas tintas, blancas y “país”. Las forrajeras más cultivadas son alfalfa, trébol rosado, maíz para silo, avena forrajera, arveja forrajera, festuca y ballicas anuales. Los cultivos forestales más extendidos son el pino insigne y el eucaliptus.

Cuadro 5.1.5. Distribución de la superficie productiva zona central de riego.

| Actividad | Superficie productiva (ha) | Porcentaje superficie |
|------------------|----------------------------|-----------------------|
| Cultivos Anuales | 348 397 | 36,6 |
| Hortalizas | 56 129 | 5,9 |
| Viñas | 38 802 | 4,1 |
| Frutales | 137 935 | 14,5 |
| Forrajeras | 159 393 | 16,8 |
| Forestales | 210 835 | 22,2 |
| Total | 951 492 | 100,0 |

Fuente:ODEPA (2002) a partir de la información del VI Censo Nacional Agropecuario, INE 1997.

Cuadro 5.1.6. Distribución del número de cabezas de ganado zona central de riego.

| Producción Animal | Cabezas(Nº) | Porcentaje ganado |
|-------------------|------------------|-------------------|
| Bovinos | 764 475 | 36,9 |
| Vacas Lecheras | 112 959 | 5,5 |
| Ovinos | 166 240 | 8,0 |
| Caprinos | 115 832 | 5,6 |
| Cerdos | 908 866 | 43,9 |
| Camélidos | 2 272 | 0,1 |
| Total | 2 070 644 | 100,0 |

Fuente:ODEPA (2002) a partir de la información del VI Censo Nacional Agropecuario, INE 1997.

5.1.4. Zona de la Precordillera Centro-Sur

5.1.4.1. Suelos típicos de la zona de la Precordillera Centro-Sur.

Esta zona agroecológica se ubica en la vertiente oriental de la Cordillera de Los Andes entre los 300 y 600 m de altitud, y se extiende desde el río Maule por el norte hasta el río Renaico por el sur. La topografía predominante es ondulada, con pendiente que en muchos casos restringe el uso más intensivo de los suelos. Abarca una superficie de 479.000 ha (Del Pozo y Del Canto, 1999).

El clima corresponde a mediterráneo temperado. La pluviometría anual promedio es superior a 1400 mm, con los valores más altos en los sitios de mayor altitud. Las precipitaciones entre marzo y agosto en los diferentes sitios constituyen entre un 69 y 79% del total anual. La evapotranspiración potencial entre diciembre y marzo supera 350 mm, por lo que el déficit hídrico dura de 3 a 4 meses. La temperatura media anual está entre 12,5 y 13,9°C. El período libre de heladas es de 5 a 6 meses en los sitios más altos (400 m.s.n.m.). La temperatura media máxima del mes más cálido varía entre 27 y 29°C y la media mínima del mes más frío (julio) entre 2,9 y 4,8 °C (Del Pozo y Del Canto, 1999).

Los suelos predominantes en esta área son Andisoles. Estos suelos presentan una profundidad media a media alta, con alto contenido de materia orgánica (8,6 % en promedio), alta retención de fósforo, alta porosidad, baja densidad aparente ($0,8 \text{ g cm}^{-3}$) y alta susceptibilidad a pérdida de cationes del suelo (Klee, 2002).

Debido a que la mayoría son suelos ondulados, con pendientes variables, la erosión hídrica deteriora la capa arable de los suelos Andisoles durante la época invernal, que es cuando se concentra la mayor caída pluviométrica. Así, en pendientes de 11% cultivadas con cereales bajo condiciones de manejo tradicional, se han registrado pérdidas anuales de suelo de 35 Mg ha^{-1} . El uso intensivo del suelo por cultivos (trigo, raps y otros) y el uso de fertilizantes amoniacales, ha acentuado los problemas de acidez y de eficiencia de uso de nutrientes (Del Pozo y Del Canto, 1999).

El perfil típico utilizado en esta zona agroecológica (pedón de la serie Santa Bárbara) corresponde al subgrupo Typic Haploxerands, orden Andisol, suborden Xerands descrito en el punto 5.1.3.1. El gran grupo Haploxerands corresponde a suelos más o menos bien drenados, que no tiene epipedón melánico, presenta un horizonte O delgado, un epipedón ócrico o mólico y un horizonte cámbico. Además, estos suelos tienen un 15% o más de retención de agua a una tensión de 1500 kPa para muestras secadas al aire y un 30 % o más para muestras no secadas al aire. El subgrupo Typic Haploxerands no presenta un contacto lítico dentro de los 50 cm superficiales, no presenta condiciones ácuicas entre los 50 y 100 cm, no tiene un horizonte cálcico, argílico o kándico sobre los 125 cm, y no tiene un epipedón mólico o úmbrico (USDA, 1999; USDA, 2003).

El perfil utilizado para modelar la biodisponibilidad de metales pesados es un miembro de la Familia medial, mélica de los Typic Haploxerands. Este suelo se caracteriza por presentar una profundidad del *solum* superior a los 120 cm. Las texturas son medias en los primeros horizontes y moderadamente finas en profundidad y no presenta variaciones de importancia. Los colores están dentro del tono 10YR y ocasionalmente puede variar al tono 7.5YR. Presenta topografía muy variable, desde lomajes suaves con pendientes de 2 a 5 % hasta zonas escarpadas con pendientes de 30%. Son suelos poco evolucionados, formados sobre cenizas volcánicas recientes, depositadas sobre substrato fluvioglaciales o materiales fluviales difícilmente detectables por la profundidad a la que se encuentran, bien drenados, de buen arraigamiento, muy porosos y sin gravas en los primeros 160 cm. La permeabilidad es moderada y el escurrimiento superficial moderadamente lento en pendiente de hasta un 3%, aumentando hasta muy rápido en pendientes superiores a

15%; las pendientes superiores a 30% se asocian a una erosión moderada; sectores con 50% muestran una erosión de moderada a severa, dependiendo de la longitud de las pendientes.

5.1.4.2. Cultivos típicos de la zona de la precordillera centro-sur

Esta zona presenta una importante superficie plantada con especies forestales, sin embargo, se caracteriza también por los cultivos anuales de secano con altos rendimientos. Le siguen en superficie el cultivo de forrajeras. Los rubros de hortalizas, viñas y frutales tienen importancia marginal (**Cuadro 5.1.7**). Esta zona es triguera por excelencia (79 023 ha de trigo panadero), aun cuando se cultivan 37 250 ha de avena, le siguen la cebada, triticale, lupino, papa, raps y remolacha azucarera. Respecto a las forrajeras, se cultiva en orden de importancia el trébol rosado, trébol subterráneo, avena forrajera, arveja forrajera, ballicas anuales y ballica inglesa o perenne, alfalfa y maíz para silo. Los cultivos forestales más extendidos son el pino insigne, eucaliptus y pino oregón. Los frutales, hortalizas y viñas más cultivados son manzano, frambuesas, espárragos, zanahorias y viñas.

En relación a la producción animal, los bovinos y ovinos son los principales rubros de la zona (**Cuadro 5.1.8**).

Cuadro 5.1.7. Distribución de la superficie productiva zona de la precordillera centro-sur.

| Actividad | Superficie productiva (ha) | Porcentaje superficie |
|------------------|----------------------------|-----------------------|
| Cultivos Anuales | 145 831 | 26,8 |
| Hortalizas | 689 | 0,1 |
| Viñas | 53 | 0,0 |
| Frutales | 2 734 | 0,5 |
| Forrajeras | 85 590 | 15,7 |
| Forestales | 308 640 | 56,8 |
| Total | 543 536 | 100,0 |

Fuente:ODEPA (2002) a partir de la información del VI Censo Nacional Agropecuario, INE 1997.

Cuadro 5.1.8. Distribución del número de cabezas de ganado zona de la precordillera centro-sur

| Producción Animal | Cabezas (Nº) | Porcentaje ganado |
|-------------------|----------------|-------------------|
| Bovinos | 394 249 | 56,6 |
| Vacas Lecheras | 32 093 | 4,6 |
| Ovinos | 143 084 | 20,5 |
| Caprinos | 52 172 | 7,5 |
| Cerdos | 74 700 | 10,7 |
| Camélidos | 554 | 0,1 |
| Total | 696 852 | 100,0 |

Fuente: Modificado de ODEPA (2002) a partir de la información del VI Censo Nacional Agropecuario, INE 1997.

5.1.5. Zona del secano interior de la Cordillera de la Costa sur.

5.1.5.1. Suelos típicos de la zona del secano interior de la Cordillera de la Costa sur.

Esta zona se extiende de manera discontinua entre las Regiones IX y X, entre las latitudes 37° 50' y 41° S, tiene suelos Ultisoles (rojos arcillosos) y climas mediterráneo marino hacia el norte (agroclima Angol) y mediterráneo frío hacia el sur (agroclimas Carillanca, Osorno y La Unión). Las precipitaciones en el agroclima Angol, en el norte, son del orden de 1055 mm, siendo junio el mes más lluvioso, con cuatro meses secos (Santibáñez y Uribe, 1993). Los agroclimas Carillanca, Osorno y La Unión presentan precipitaciones anuales de 1394, 1383 y 1267 mm, respectivamente, concentradas en los meses mayo y junio, con estación seca de un mes (Santibáñez y Uribe, 1993).

La mayor parte de los suelos Ultisoles de esta zona están ubicados en pendientes, predominando una topografía de lomajes, son suelos de origen volcánico, formados a partir de cenizas antiguas, con más de 40% de arcillas mineralógicamente evolucionadas y fácilmente dispersables, lo que sumado a las características topográficas hacen que estos suelos sean muy susceptibles a erosionarse, presentando problemas físicos derivados de la presencia de un horizonte argílico a los 20 cm de profundidad. Son suelos con una baja velocidad de infiltración, con alto contenido de aluminio intercambiable en su condición natural. Son suelos moderadamente profundos a

profundos (100 y 170 cm y hasta 4 m), con niveles de carbono orgánico de 2 a 4% hasta 50 cm de profundidad. Sin embargo, el contenido orgánico del horizonte A alcanza frecuentemente valores de 6 a 10% de carbono orgánico, como consecuencia de la contaminación en superficie de cenizas volcánicas modernas que han desarrollado componentes alofánicos (Besoain, 1985). Poseen una capacidad de fijación de fósforo inferior a la de los suelos Andisoles. Tienen baja disponibilidad de fósforo, nitrógeno y azufre. El pH es frecuentemente ácido. Por la coloración pardo rojiza de los estratos superiores y la textura franco arcillosa a arcillosa se conocen con el nombre genérico de suelos "rojo-arcillosos" Ultisoles (Teuber, 1996, Balocchi, 1998). Dada su textura predominantemente arcillosa se dificulta la oportunidad y profundidad de la labranza. La humedad aprovechable de estos suelos varía entre 6 y 13%, es baja comparada con la de los suelos Andisoles. En general presentan una severa erosión (Sierra, 1987). Las arcillas están dominadas por minerales kandíticos, especialmente halloysita - 7A o formas de caolinita tipo "fire clay", con algo de alofán en el horizonte superficial (Besoain, 1985). Los suelos Ultisoles o rojo arcillosos exhiben una secuencia de horizontes que frecuentemente es: Ap, Bt1, Bt2, Bt3, 2BC ó C.

El perfil típico utilizado para el estudio en esta zona agroecológica (pedón de la serie Collipulli) corresponde al subgrupo Xeric Palehumults perteneciente al orden Ultisol. El orden Ultisol se caracteriza por presentar un horizonte argílico o kándico con baja saturación de bases, se pueden presentar bajo cualquier régimen de humedad, excepto arídico, la liberación de bases por intemperización puede ser igual o menor a la remoción por lavado. La saturación de aluminio es comúnmente alta, especialmente en los grupos *Pale*. El suborden Humults es bien drenado, no presenta condiciones ácuicas y tiene 0,9% o más de carbono orgánico en los primeros 15 cm del horizonte argílico o kándico. El gran grupo Palehumults no presenta horizonte kándico, tiene una distribución de arcillas en la que el porcentaje de éstas no decrece de 20% o más dentro de una profundidad de 150 cm desde la superficie del suelo mineral, no tiene horizonte sómblico dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo mineral, y no presenta plintita formando una fase continua o que constituye más de la mitad del volumen de cualquier subhorizonte dentro de los 125 cm desde la superficie del suelo mineral. El subgrupo Xeric Palehumults se caracteriza por corresponder a suelos con régimen de humedad xérico (USDA, 1999; USDA, 2003).

El perfil utilizado para modelar la biodisponibilidad de metales pesados es miembro de la Familia fina, mesic, Xeric Palehumults.

5.1.5.2. Cultivos típicos de la zona del secano interior de la Cordillera de la Costa sur

Esta zona tiene una superficie importante plantada con especies forestales, le siguen los cultivos anuales y las forrajeras. Los rubros de hortalizas viñas y frutales tienen una importancia marginal (**Cuadro 5.1.9**). Los cultivos anuales más importantes en relación a la superficie sembrada de la zona son los cereales, principalmente trigo panadero y avena, le sigue la papa, el lupino y el raps. Las forrajeras cultivadas incluyen, en orden de importancia la avena forrajera, trébol rosado, arveja forrajera, ballica inglesa o perenne, ballicas anuales y alfalfa. Las plantaciones forestales más importantes son el pino insigne y el eucaliptus. Los frutales y hortalizas más cultivados son rosa mosqueta, manzano, frambuesas, tomate, espárragos, zanahorias y maíz choclero. Los bovinos son el principal rubro de producción animal de la zona (**Cuadro 5.1.10**).

Cuadro 5.1.9. Distribución de la superficie productiva zona del secano interior de la Cordillera de la Costa sur

| Actividad | Superficie productiva (ha) | Porcentaje superficie |
|------------------|----------------------------|-----------------------|
| Cultivos Anuales | 126 276 | 24,4 |
| Hortalizas | 514 | 0,1 |
| Viñas | 0 | 0,0 |
| Frutales | 3 890 | 0,8 |
| Forrajeras | 44 509 | 8,6 |
| Forestales | 342 174 | 66,1 |
| Total | 517 362 | 100,0 |

Fuente: Modificado de ODEPA (2002) a partir de la información del VI Censo Nacional Agropecuario, INE 1997.

Cuadro 5.1.10. Distribución del número de cabezas de ganado zona del secano interior de la Cordillera de la Costa sur

| Producción Animal | Cabezas (Nº) | Porcentaje ganado |
|-------------------|----------------|-------------------|
| Bovinos | 447 637 | 55,6 |
| Vacas Lecheras | 64 046 | 8,0 |
| Ovinos | 133 813 | 16,6 |
| Caprinos | 29 116 | 3,6 |
| Cerdos | 130 334 | 16,2 |
| Camélidos | 122 | 0,0 |
| Total | 805 068 | 100,0 |

Fuente: Modificado de ODEPA (2002) a partir de la información del VI Censo Nacional Agropecuario, INE 1997.

5.1.6. Zona húmeda del sur.

5.1.6.1. Suelos típicos de la zona húmeda del sur.

La zona húmeda del sur de Chile (X Región, latitudes 39° a 41° S) se ubica en el llano central de las provincias de Valdivia, Osorno y Llanquihue. El clima es oceánico con influencia mediterránea y aún cuando existe lluvia todo el año ésta disminuye en verano, determinando 3 a 4 meses subhúmedos. La temperatura máxima media del mes más cálido es de 27,1°C y la mínima media del mes más frío de 3,3 °C. El período libre de heladas es de 90 días. La precipitación anual es del orden de 2100 mm (Novoa y Villaseca, 1989). Se caracteriza por tener suelos Andisoles (trumaos), con rotaciones trigo-avena, trigo-arveja.

Los perfiles utilizados (pedones de las series Nueva Braunau, Osorno y Frutillar) corresponden a los sub grupos Typic Hapludands, Hydric Hapludands y Typic Placudands, del orden Andisol, descrito en el punto 5.1.3.1. El suborden Udands se caracteriza por tener un régimen de humedad údico, por un epipedón ócrico o úmbrico y un horizonte cámbico; algunos presentan un duripán. El gran grupo Hapludands no tiene epipedón melánico ni horizonte plácico dentro de los 100 cm superficiales de suelo mineral o capa orgánica con propiedades ándicas. Pueden presentar un contacto lítico pero no tienen ningún horizonte cementado. Comúnmente los Hapludands tienen un

horizonte O delgado, un epipedón ócrico o úmbrico y un horizonte cámbico. El pedón de la serie Nueva Braunau pertenece al subgrupo Typic Hapludands. El subgrupo Hydric Hapludands (pedón de la serie Osorno) corresponde a suelos cuya retención de agua a 1500 kPa es de 70% o más a lo largo de una capa de 35 cm o más de grosor dentro de los 100 cm superficiales de suelo mineral o capa orgánica con propiedades ándicas (USDA, 1999; USDA, 2003).

El gran grupo Placudands tiene mal drenaje, un horizonte plácico (fierrillo) dentro de los 100 cm superficiales de suelo mineral o capa orgánica con propiedades ándicas, un horizonte O delgado y un epipedón ócrico o úmbrico sobre el horizonte plácico. El pedón de la serie Frutillar pertenece al subgrupo Typic Placudands (USDA, 1999; USDA, 2003).

5.1.6.2. Cultivos típicos de la zona húmeda del sur.

Esta zona se caracteriza por el cultivo de forrajeras para la alimentación animal, en particular de bovinos. Le siguen en importancia las plantaciones forestales, frutales y los cultivos anuales (**Cuadro 5.1.11**). En relación a la superficie sembrada de la zona, los cultivos anuales más importantes son los cereales de invierno, en particular, trigo panadero y avena, otro cultivo relevante es la papa, seguido por remolacha azucarera, raps, triticale y cebada. Respecto a las forrajeras, se cultiva en orden de importancia la arveja forrajera, trébol rosado, ballicas anuales, ballica inglesa o perenne, alfalfa y avena forrajera.

En relación a la producción animal, los bovinos son el principal rubro de la zona, con un 68,6% del total de las cabezas de ganado (**Cuadro 5.1.12**).

Cuadro 5.1.11. Distribución de la superficie productiva zona húmeda del sur

| Actividad | Superficie productiva (ha) | Porcentaje superficie |
|------------------|----------------------------|-----------------------|
| Cultivos Anuales | 59 285 | 26,8 |
| Hortalizas | 588 | 0,3 |
| Viñas | 0 | 0,0 |
| Frutales | 59 873 | 27,1 |
| Forrajeras | 155 154 | 70,2 |
| Forestales | 65 836 | 29,8 |
| Total | 220 990 | 100,0 |

Fuente: ODEPA (2002) a partir de la información del VI Censo Nacional Agropecuario, INE 1997.

Cuadro 5.1.12. Distribución del número de cabezas de ganado zona húmeda del sur

| Producción Animal | Cabezas (Nº) | Porcentaje ganado |
|-------------------|------------------|-------------------|
| Bovinos | 1 220 275 | 68,6 |
| Vacas Lecheras | 307 726 | 17,3 |
| Ovinos | 176 643 | 9,9 |
| Caprinos | 12 724 | 0,7 |
| Cerdos | 61 336 | 3,4 |
| Camélidos | 547 | 0,0 |
| Total | 1 779 251 | 100,0 |

Fuente: Modificado de ODEPA (2002) a partir de la información del VI Censo Nacional Agropecuario, INE 1997.

5.2. Criterios y restricciones del uso de suelos y cultivos en relación a los metales pesados.

Para el establecimiento de límites o restricciones de uso del suelo y de los cultivos en relación a los metales pesados se han considerado los siguientes criterios:

- Propiedades del suelo (pH, materia orgánica, conductividad eléctrica y contenido de arcilla).
- Valores totales de metales pesados en el suelo.
- Valores de metales pesados movilizables o disponibles en el suelo (metales extraíbles con EDTA, DTPA).
- Valores totales de metales pesados en los órganos de consumo de los cultivos.
- Toxicidad del metal pesado, por ejemplo, disminución del 10% de la materia seca o rendimiento de los cultivos ó respuesta de la fauna (ganado, organismos indicadores).
- Una combinación de los anteriores.

Cualquiera sea el caso, es necesario contar con la información básica respecto a los contenidos de metales pesados en el suelo (totales y disponibles) y en los cultivos.

Para elaborar cuadros de riesgo de los distintos cultivos de las zonas y suelos seleccionados es necesario contar con información básica de los contenidos totales y disponibles de metales pesados en el suelo y contenidos totales de metales pesados en los órganos de consumo de los cultivos.

El **Cuadro 5.2.1** muestra la importancia potencial que tendría para los perfiles típicos de la zona norte de Chile la presencia de metales pesados considerando las características de pH, contenido de materia orgánica, condiciones de drenaje y textura. En la zona Norte, afectada por problemas de salinidad y pH, generalmente alcalino, y posibles fuentes de metales, sobresalen Cr, Mn, As, Se y Mo además de problemas puntuales relacionados con las fuentes emisoras y la incorporación a la planta por contaminación aérea, en particular de Hg y Pb.

Estudios específicos debieran priorizar cultivos de consumo masivo como cereales (trigo, maíz), papa, leguminosas de grano (porotos, arvejas), y praderas destinadas a la alimentación animal. Viñas y frutales, destinados a la exportación debieran estudiarse en conjunto con las empresas exportadoras. Se debe estudiar, además, el papel de las plantaciones forestales en la biorremediación de suelos contaminados.

El **Cuadro 5.2.2** muestra la importancia potencial que tendría la presencia de metales pesados considerando las características de pH, contenido de materia orgánica, condiciones de drenaje y textura de los suelos típicos de la zona del secano de la Cordillera de la Costa, de uso preferentemente forestal. Aparecen como potencialmente importantes el Cu, Zn, Se y Cd. Lo anterior no quiere decir que estos suelos tengan algún contenido importante de metales pesados en particular.

Cuadro 5.2.1. Importancia potencial de los metales pesados en perfiles típicos de la Zona Norte.

| Metal | Typic Torrifluvent | Vertic Haplocambid | Typic Torriorthent |
|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Cromo (VI) | Baja | Media | Baja |
| Manganeso | Baja | Alta | Media |
| Níquel | Baja | Baja | Baja |
| Cobre | Media | Baja | - |
| Cinc | Media | Baja | - |
| Arsénico [#] | Alta | Media | Media |
| Selenio [#] | Alta | Media | Media |
| Molibdeno | Alta | Media | Media |
| Cadmio | Baja | Baja | Baja |
| Mercurio | Baja | Baja | Baja |
| Plomo | Baja | Baja | Baja |

[#] Metaloides**Cuadro 5.2.2.** Importancia potencial de los metales pesados en suelos de la Zona Secano de la Cordillera de la Costa de Chile Central

| Metal | Ultic Haploxeralf | Typic Rhodoxeralf | Ultic Argixeroll |
|------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Cromo (VI) | Baja | Media | Baja |
| Manganeso | Baja | Baja | Baja |
| Níquel | Baja | Baja | Baja |
| Cobre | Media | Media | Media |
| Cinc | Media | Media | Media |
| Arsénico | Baja | Baja | Baja |
| Selenio | Baja | Baja | Baja |
| Molibdeno | Baja | Baja | Baja |
| Cadmio | Media | Media | Baja |
| Mercurio | - | - | - |
| Plomo | Baja | Media | Baja |

En la zona central de riego se presentan cuatro tipos de suelos contrastantes: suelos aluviales, suelos con mal drenaje afectados por sales, suelos con mal drenaje no afectados por sales y suelos derivados de materiales volcánicos. Los metales pesados con importancia potencial considerando las características de pH, contenido de materia orgánica, condiciones de drenaje y textura de los perfiles típicos considerados para la

zona central de riego de Chile son Cu, Zn, y Cd en los suelos aluviales de pH cercano a la neutralidad; Cr, As, Se y Mo en los suelos con mal drenaje afectados por sales; Mn, Se y Mo en los suelos con mal drenaje no afectados por sales y Mn, Cu, Zn, Cd y Pb en los suelos derivados de materiales volcánicos (**Cuadro 5.2.3**). Además, es importante considerar fuentes emisoras puntuales y difusas. Lo anterior no quiere decir que estos suelos tengan un contenido importante de metales pesados en particular.

Cuadro 5.2.3. Importancia potencial de los metales pesados en suelos de la Zona central de riego.

| Metal | Entic Haploxeroll | Typic Melanoxerand | Leptic Haploxerert | Halic Haploxerert |
|------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Cromo (VI) | Baja | Baja | Baja | Media |
| Manganeso | Baja | Media | Media | Baja |
| Níquel | Baja | Baja | Baja | Baja |
| Cobre | Media | Media | Baja | Baja |
| Cinc | Media | Media | Baja | Baja |
| Arsénico | Baja | Baja | Baja | Media |
| Selenio | Baja | Baja | Media | Media |
| Molibdeno | Baja | Baja | Media | Alta |
| Cadmio | Media | Media | Baja | Baja |
| Mercurio | - | - | - | Baja |
| Plomo | Baja | Media | Baja | Baja |

En la zona de la precordillera centro – sur, se deben tener presente Cu, Zn, Cd y Pb, y en la zona del secano interior de la Cordillera de la Costa sur Cr, Mn, Ni, Cd y Pb, cuya biodisponibilidad puede verse aumentada. El **Cuadro 5.2.4** muestra la importancia potencial que tendría la presencia de los metales pesados considerando las características de pH, contenido de materia orgánica, condiciones de drenaje y textura de los pedones de las series estudiadas en la zona de la precordillera centro-sur y en la zona del secano interior de la Cordillera de la Costa sur de Chile. Lo anterior no implica que existan actualmente metales pesados en particular.

En aquellos suelos ácidos donde se aplica encalado para corregir el pH, los estudios debieran centrarse en la disponibilidad de los metales, la que se ve afectada por reacciones de precipitación en el suelo. En la zona Húmeda sur los metales Mn, Ni, Cd y

Pb., de encontrarse, podrían presentar una mayor biodisponibilidad por efecto del pH ácido de los suelos

Cuadro 5.2.4. Importancia potencial de los metales pesados en suelos de las Zonas Precoydera Centro Sur y Secano Interior de la Cordillera de la Costa Sur.

| Metal | Typic Haploxerand | Xeric Palehumult |
|------------|-------------------|------------------|
| Cromo (VI) | Baja | Media |
| Manganeso | Baja | Media |
| Níquel | Baja | Media |
| Cobre | Media | Baja |
| Cinc | Media | Baja |
| Arsénico | Baja | Baja |
| Selenio | Baja | Baja |
| Molibdeno | Baja | Baja |
| Cadmio | Media | Alta |
| Mercurio | - | - |
| Plomo | Media | Alta |

El **Cuadro 5.2.5** muestra la importancia potencial que tendría la presencia de metales pesados considerando las características de pH, contenido de materia orgánica, condiciones de drenaje y textura de los suelos típicos de la zona central de riego de Chile. Lo anterior no quiere decir que estos suelos tengan algún contenido importante de metales pesados en particular.

Cuadro 5.2.5. Importancia potencial de los metales pesados en suelos de la Zona húmeda del sur.

| Metal | Hydric Hapludand | Typic Hapludand | Typic Placudand |
|------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| Cromo (VI) | Media | Media | Alta |
| Manganeso | Media | Media | Alta |
| Níquel | Media | Media | Alta |
| Cobre | Baja | Baja | Baja |
| Cinc | Baja | Baja | Baja |
| Arsénico | Baja | Baja | Baja |
| Selenio | Baja | Baja | Baja |
| Molibdeno | Baja | Baja | Baja |
| Cadmio | Alta | Alta | Baja |
| Mercurio | - | - | - |
| Plomo | Media | Media | Media |

El **Cuadro 5.2.6** da valores de concentración máxima tolerable de metales pesados para algunos cultivos agrícolas de consumo regular. Los valores máximos en cultivos agrícolas corresponden a la cantidad (mg metal kg^{-1} masa seca vegetal consumida) bajo la cual no hay riesgo para la salud humana por ingesta directa. Estos valores se obtuvieron considerando el límite máximo de concentración en el órgano de la planta encontrado por diferentes autores, en distintos suelos no contaminados del mundo. Estos valores no corresponden a límites de fototoxicidad que fueron discutidos en el Capítulo 4. Los cultivos del género *Brassica* son bioacumuladores de selenio.

Cuadro 5.2.6. Concentración máxima tolerable de metales pesados en distintos tipos de cultivos agrícolas de consumo regular

| Elemento | Concentración máxima tolerable en cultivos agrícolas | Cultivo | | | | | |
|---|--|---------|--------|-------|------------|-------------------|-------------------|
| | | Granos | | | Tubérculos | Raíz | Hojas |
| | | Trigo | Maíz | Arroz | Papa | Zanahoria | Lechuga |
| ----- mg kg ⁻¹ . peso seco ----- | | | | | | | |
| Cromo | 2 | 0,2 | - | - | 0,02 | 1,5 ^{##} | 1,5 ^{##} |
| Manganeso | 300 | 105,0 | 4,0 | 40,0 | 15,0 | 30,0 | 30,0 |
| Níquel | 1 - 10 | 0,7 | 0,4 | 1,2 | 1 | 1 | 1,8 |
| Cobre | 5 - 20 | 10,3 | 2,1 | 5,1 | 6,6 | 8,4 | 8,1 |
| Cinc | 50 – 100 | 47,0 | 36,0 | 28,0 | 26,0 | 27,0 | 73,0 |
| Arsénico | 0,1 – 1,0 | 0,01 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,08 | 0,25 |
| Selenio | 1,0 - 5 | 0,430 | - | - | 0,011 | 0,064 | 0,057 |
| Molibdeno | 0,2 - 5 [#] | 1,1 | 0,18 | 3,05 | 0,25 | 0,04 | 0,07 |
| Cadmio | 0,05 – 0,5 | 0,35 | 0,1 | 0,23 | 1,05 | 1,73 | 0,66 |
| Mercurio | 0,05 – 0,5 | 0,033 | 0,0046 | - | 0,047 | 0,086 | 0,0083 |
| Plomo | 0,5 - 10 | 1,0 | 3,0 | 0,07 | 3,0 | 3,0 | 3,6 |

[#] Valor suficiente o normal en la planta, ^{##} Peso de las cenizas.

Los valores máximos en cultivos agrícolas corresponden a la cantidad (mg **metal** kg⁻¹ masa seca vegetal consumida) bajo la cual no hay riesgo para la salud humana por ingesta directa.

5.3. Interacción suelo-cultivo.

La biodisponibilidad de los metales pesados es distinta para cada suelo y los cultivos tienen patrones de comportamiento según la especie, la variedad dentro de la especie y la naturaleza del metal pesado. Así, conociendo la biodisponibilidad de los metales pesados y su distribución en los distintos órganos de la planta es posible seleccionar los cultivos que no implican riesgo para la cadena trófica o, en otras palabras, se puede restringir el cultivo de determinadas especies.

El **Cuadro 5.3.1**, indica cuáles son los metales pesados con riesgo potencial para cultivos en las seis zonas agroecológica definidas, se confeccionó en base a los rangos de suficiencia o normalidad mostrados en el capítulo 5, “Metales pesados en los cultivos”. También se consideraron los cuadros de importancia potencial de los metales pesados en las distintas zonas y suelos (**cuadros 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3, 5.2.4, y 5.2.5**). Se eligieron algunos cultivos indicando órganos comestibles como granos, tubérculo, raíz y hojas, según corresponda, cultivados y consumidos regularmente en el país. Se puede observar que el riesgo de transferencia metal-cultivo varía según la zona y el tipo de suelo considerado. Así, el cultivo de maíz presenta el menor número de metales potencialmente transferibles a la cadena alimentaria, mientras que la lechuga presenta un alto potencial de transferencia para muchos de los metales considerados.

Cualquier normativa tendiente a la restricción de uso del suelo o de cultivos debe basarse en estudios locales, entendiéndose estas recomendaciones sólo como información preliminar.

Cuadro 5.3.1. Metales pesados de posible riesgo, según biodisponibilidad, para algunos cultivos en suelos de las diferentes zonas agroecológicas.

| Zona agroecológica | Suelo | Metales según cultivo | | | | | |
|--|--------------------|-----------------------|--------|--------|------------|------------|----------------|
| | | Trigo | Maíz | Arroz | Papa | Zanahoria | Lechuga |
| Norte | Typic Torrifluvent | Cu, Mo | As | Cu, As | Cu, As, Mo | Cu | As, Cu, Zn |
| | Vertic Haplocambid | Mo | As | Mo, As | As, Mo | | As, |
| | Typic Torriorthent | Mo | As | Mo,As | As, Mo | | As, |
| Secano de la Cordillera | Ultic Haploxeralf | Cd, Cu | Cd | Cu, Cd | Cu, Cd | Cd, Cu | Cd, Cu, Zn |
| de la Costa de Chile | Typic Rhodoxeralf | Cd, Cu, Pb | Cd, Pb | Cu, Cd | Cu, Cd, Pb | Cd, Cu, Pb | Cd, Cu, Pb, Zn |
| Central | Ultic Argixeroll | Cu | | Cu | Cu | Cu | Cu, Cd, Zn |
| Central de riego | Entic Haploxeroll | Cd, Cu | Cd | Cu | Cu, Cd | Cu, Cd | Cu, Cd, Zn |
| | Typic Melanoxerand | Cd, Cu, Pb | Cd, Pb | Cu | Cu, Cd, Pb | Cu, Cd, Pb | Cu, Cd, Pb, Zn |
| | Leptic Haploxerert | | | Mo | Mo | | |
| | Halic Haploxerert | | | Mo | Mo | | |
| Precordillera centro sur | Typic Haploxerand | Cd, Cu, Pb | Cd, Pb | Cu | Cu, Cd, Pb | Cu, Cd, Pb | Cu, Cd, Pb, Zn |
| Secano interior de la Cordillera de la Costa Sur | Xeric Palehumult | Cd, Pb | Cd, Pb | Ni | Cd, Pb, Ni | Cd, Pb, Ni | Cd, Pb, Mn, Ni |
| Húmeda del sur | Hydric Hapludand | Cd, Pb | Cd, Pb | Ni | Cd, Pb, Ni | Cd, Pb, Ni | Cd, Pb, Mn, Ni |
| | Typic Hapludand | Cd, Pb | Cd, Pb | Ni | Cd, Pb, Ni | Cd, Pb, Ni | Cd, Pb, Mn, Ni |
| | Typic Placudand | Pb | Pb | Ni | Pb, Ni | Pb, Ni | Pb, Mn, Ni |

5.4. Indicadores de calidad de suelos

Para las seis zonas agroecológicas, se proponen los indicadores de calidad de suelo mostrados en el **Cuadro 5.4.1**. En cada suelo típico de las zonas agroecológicas, se recomienda monitorear las propiedades físicas, químicas y biológicas mostradas en los **Cuadros 5.4.2, 5.4.3, 5.4.4, 5.4.5 y 5.5.6** como indicadores de calidad de suelos sensibles al manejo agropecuario.

Cuadro 5.4.1. Indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad del suelo en zonas de relevancia y tiempo requerido para el cambio.

| Propiedades del suelo | Zonas donde el parámetro es relevante | Tiempo requerido para percibir cambios |
|--|---------------------------------------|--|
| Físicas | | |
| Textura | Todas | >10 ³ años |
| Estructura: tipo, tamaño, grado | ZN ¹ , ZCR | >10 años |
| Estabilidad estructural: diámetro ponderado medio (erodabilidad) | ZSCCC, ZCR, ZSICCS | <2 años |
| Profundidad efectiva | Todas | 2-10 años |
| Velocidad de infiltración estabilizada | Todas | <1 año |
| Retención de agua (humedad aprovechable) | Todas | <1 año |
| Resistencia a la penetración | Todas | <1año |
| Capacidad de aire del suelo (Aireación) | ZCR, ZHS | < 2 años |
| Densidad Aparente | Todas | < 2 años |
| Químicas | | |
| Carbono orgánico del suelo (COS) | Todas | >5 años |
| Relación C/N | Todas | 2-5 años |
| NPK disponible | Todas | <2 años |
| Disponibilidad de metales pesados [#] | Todas | |
| Reacción del suelo (pH) | Todas | > 5 años |
| Conductividad eléctrica (CE) | ZN, ZCR | < 2 años |
| Razón de adsorción de sodio: RAS | ZN, ZCR | < 2años |
| Aluminio intercambiable | Todas, si pH < 5,6 | meses |
| Capacidad de intercambio catiónico | Todas | 0 – 10 años |
| Biológicas | | |
| Biomasa microbiana: C biomásico, N biomásico | Todas | <1 año |
| Respiración: evolución del CO ₂ | Todas | < 1 año |
| Mesofauna: Lombrices (diversidad, cantidad y biomasa) | Todas | < 2 años |
| Act. deshidrogenasa | Todas | < 1 año |

¹ **ZN** = Zona Norte; **ZCR**: Central de Riego ;**ZSCCC** = Secano de la Cordillera de la Costa de Chile Central; **ZSICCS**: Zona del Secano Interior de la Cordillera de la Costa Sur; **ZHS**: Zona húmeda del Sur.

Cuadro 5.4.2. Indicadores de calidad del suelo zona norte

| Indicadores | Typic Torrifluvent | Vertic Haplocambid | Typic Torriorthent |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Físicos | | | |
| Textura | X | X | X |
| Estructura | | X | |
| Prof. Efectiva | X | X | X |
| VIE [#] | X | X | X |
| Humedad aprovechable | X | X | X |
| Resistencia a la penetración | X | X | X |
| Densidad aparente | X | X | X |
| Químicos | | | |
| Carbono orgánico | X | X | X |
| Relación C/N | X | X | X |
| NPK disponible | X | X | X |
| pH | X | X | X |
| CIC | X | X | X |
| Conductividad eléctrica | X | X | X |
| Razón de adsorción de sodio | X | X | X |
| Biológicos | | | |
| Biomasa microbiana | X | X | X |
| Respiración: CO ₂ | X | X | X |
| Lombrices | X | X | X |
| Act. Deshidrogenasa | X | X | X |
| [#] Velocidad de infiltración estabilizada | | | |
| ^{##} Capacidad de intercambio catiónico | | | |

Cuadro 5.4.3. Indicadores de calidad del suelo zona Secano de la Cordillera de la Costa de Chile Central

| Indicadores | Ultic Haploxeralf | Typic Rhodoxeralf | Ultic Argixeroll |
|--|----------------------|-------------------|------------------|
| Físicos | | | |
| Textura | X | X | X |
| DPM [#] | X | X | |
| Prof. Efectiva | X | X | X |
| VIE ^{##} | X | X | X |
| Humedad aprovechable | X | X | X |
| Resistencia a la penetración | X | X | X |
| Densidad aparente | X | X | X |
| Químicos | | | |
| Carbono orgánico | X | X | X |
| Relación C/N | X | X | X |
| NPK disponible | X | X | X |
| pH | X | X | X |
| Aluminio intercambiable | X | X | |
| CIC ^{###} | X | X | X |
| Biológicos | | | |
| Biomasa microbiana | X | X | X |
| Respiración: CO ₂ | X | X | X |
| Lombrices | X | X | X |
| Act. Deshidrogenasa | X | X | X |
| [#] Diámetro ponderado medio | | | |
| ^{##} Velocidad de infiltración estabilizada | | | |
| ^{###} Capacidad de intercambio catiónico | | | |

Cuadro 5.4.4. Indicadores de calidad del suelo zona Central de riego

| Indicadores | Entic Haploxeroll | Typic Melanoxerand | Leptic Haploxerert | Halic Haploxerert |
|--|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Físicos | | | | |
| Textura | X | X | X | X |
| Estructura | | | X | X |
| DPM [#] | X | X | | |
| Prof. Efectiva | X | X | X | X |
| VIE ^{##} | X | X | X | X |
| Humedad aprovechable | X | X | X | X |
| Resistencia a la penetración | X | X | X | X |
| Densidad aparente | X | X | X | X |
| Aireación | | | X | X |
| Químicos | | | | |
| Carbono orgánico | | X | X | X |
| Relación C/N | | X | X | X |
| NPK disponible | | X | X | X |
| CIC ^{###} | X | X | X | X |
| pH | | X | X | X |
| Conductividad eléctrica | | | X | X |
| Razón de adsorción de sodio | | | X | X |
| Biológicos | | | | |
| Biomasa microbiana | | X | X | X |
| Respiración: CO ₂ | | X | X | X |
| Lombrices | | X | X | X |
| Act. Deshidrogenasa | | X | X | X |
| [#] Diámetro ponderado medio | | | | |
| ^{##} Velocidad de infiltración estabilizada | | | | |
| ^{###} Capacidad de intercambio catiónico | | | | |

Cuadro 5.4.5. Indicadores de calidad del suelo zona de la Precordillera centro-sur y Zona del Secano Interior de la Cordillera de la Costa Sur.

| Indicadores | Typic Haploxerand | Xeric Palehumult |
|--|-------------------|------------------|
| Físicos | | |
| Textura | X | X |
| DPM [#] | | X |
| Prof. Efectiva | X | X |
| VIE ^{##} | X | X |
| Humedad aprovechable | X | X |
| Resistencia a la penetración | X | X |
| Densidad aparente | X | X |
| Químicos | | |
| Carbono orgánico | X | X |
| Relación C/N | X | X |
| NPK disponible | X | X |
| CIC ^{###} | X | X |
| pH | X | X |
| Aluminio intercambiable | X | X |
| Biológicos | | |
| Biomasa microbiana | X | X |
| Respiración: CO ₂ | X | X |
| Lombrices | X | X |
| Act. Deshidrogenasa | X | X |
| [#] Diámetro ponderado medio | | |
| ^{##} Velocidad de infiltración estabilizada | | |
| ^{###} Capacidad de intercambio catiónico | | |

Cuadro 5.5.6. Indicadores de calidad del suelo zona húmeda del Sur.

| Indicadores | Hydric Hapludand | Typic Hapludand | Typic Placudand |
|--|---------------------|--------------------|--------------------|
| Físicos | | | |
| Textura | X | X | X |
| Prof. Efectiva | X | X | X |
| VIE ^{##} | X | X | X |
| Humedad aprovechable | X | X | X |
| Resistencia a la penetración | X | X | X |
| Densidad aparente | X | X | X |
| Aireación | | | X |
| Químicos | | | |
| Carbono orgánico | X | X | X |
| Relación C/N | X | X | X |
| NPK disponible | X | X | X |
| pH | X | X | X |
| Aluminio intercambiable | X | X | X |
| CIC ^{###} | X | X | X |
| Biológicos | | | |
| Biomasa microbiana | X | X | X |
| Respiración: CO ₂ | X | X | X |
| Lombrices | X | X | X |
| Act. Deshidrogenasa | X | X | X |
| ^{##} Velocidad de infiltración estabilizada | | | |
| ^{###} Capacidad de intercambio catiónico | | | |

Siglas

ODEPA: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias.

USDA: United States Department of Agriculture.

Síntesis

- Se definieron seis zonas agroecológicas: Zona Norte, Zona del Secano de la Cordillera de la Costa de Chile Central, Zona Central de Riego, Zona de la Precordillera Centro-Sur, Zona del Secano Interior de la Cordillera de la Costa sur, y Zona Húmeda del Sur.
- Cada zona se caracterizó en relación a su actividad silvoagropecuaria y se seleccionaron pedones de series de suelos con propiedades contrastantes. Se definieron rangos cualitativos (bajo, medio y alto) en relación a la biodisponibilidad potencial para cada suelo y metal.
- Se seleccionaron cultivos de consumo frecuente, y se analizó su afinidad por cada metal. Con la información de biodisponibilidad potencial, como indicadora de riesgo, se estableció, por zona, una aproximación teórica para establecer criterios de restricción de uso de cultivos en los suelos.
- La definición de indicadores e índices de calidad de suelos y el establecimiento de normas para asegurar la protección al medioambiente y a la salud del hombre, es un proceso que requiere de información básica sobre el medio en estudio. En Chile esta información es deficiente. Destacan los estudios realizados por INIA y la Universidad de Chile que constituyen un punto de partida para elucidar la problemática de los metales pesados en el medioambiente.

5.5. Literatura citada

- Balocchi, O. 1998. Praderas y recursos forrajeros en la zona sur de Chile. *In*: Amtmann, C; Mujica, F. y Vera, B. (eds.) Pequeña agricultura en la Región de Los Lagos, Chile. Universidad Austral de Chile. p 59-73.
- Besoain, E. 1985. Los Suelos. *In*: J. Tosso (ed.) Suelos Volcánicos de Chile. Primera Edición. pp:25-723.
- CONAMA, 1994. Perfil ambiental de Chile. Comisión Nacional del Medio Ambiente. 569p.
- Comisión Nacional de Riego. 1981. Estudio de suelos del proyecto Maipo. Ministerio de Agricultura. 188p.
- Del Pozo, A. y Del Canto, P. 1999. Áreas agroclimáticas y sistemas productivos en la VII y VIII Regiones. Serie Quilamapu N° 113. 115 p.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 1997. Censo Agrícola.
- Klee, G. 2002. Sistemas recria-engorda de toritos y novillos. Boletín INIA N°89. 208p.
- Letey, J., Sojka, R.E., Upchurch D.R., Cassel D.K., Olson, K.R. Payne, W.A., Petrie, S.E. Price, G.H., Reginato R.J., Scott, H.D., Smethurst, P.J., and Triplett, G.B.. 2003. Deficiencies in the soil quality concept and its application. Journal of Soil and Water Conservation. 58, 4: 180-187.
- Luzio, W. y Alcañata, S.. 1986. Clasificación taxonómica de los suelos de regiones desérticas y áridas del Norte de Chile. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Boletín N° 5: 141-144.
- Mella A. y Kühne, A.. 1985. Sistemática y descripción de las Familias, Asociaciones y Series de los suelos derivados de materiales piroclásticos de la zona central-sur de Chile. *In*: J. Tosso (ed.) Suelos Volcánicos de Chile. Primera Edición. pp:549-723.
- Novoa, R. y Villaseca, S. 1989. Mapa agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. 221p.
- ODEPA. 2002. Agricultura chilena. Rubros según tipo de productor y localización geográfica. Documento de trabajo N° 8. En línea en <http://www.odepa.gob.cl>.
- Peralta, M. 1976. Uso, clasificación y conservación de suelos. Ministerio de Agricultura. Chile 340 p.

- Rodríguez, N., Ruz, E. y Sloat, P. 1994. Comparación de las pérdidas de suelos y nutrientes en el cultivo de trigo en tres sistemas de labranza en la precordillera de Ñuble. Terceras Jornadas Nacionales de Cero Labranza, INIA, CRI-Carillanca, Temuco p.177-187.
- Rouanet, J.L., Pino, I., Uribe, H., Nario, A., Schuller, P., Borie, F., Barrientos, L., Parada, A.M., Alvear, M. y Mera, M. 2003. Manejo integrado suelo-planta y desarrollo sustentable de la agricultura del sur de Chile. *In*: Acevedo, E. (ed.), Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 29-55p.
- Sabino, C. A. 1996. El proceso de investigación. Argentina. Ed. Lumen - Humanitas.
- Santibáñez, F y Uribe, J. 1993. Atlas Agroclimático de Chile. Regiones Sexta, Séptima, Octava y Novena. Laboratorio de Meteorología, Universidad de Chile. Ministerio de Agricultura, Fondo de Investigación Agropecuaria, Corporación de Fomento de la Producción.
- Sierra, C. 1987. Características físicas de los suelos rojos arcillosos (ultisoles) de la precordillera de la costa de la X Región. Boletín Técnico INIA N°122. 10p.
- Teuber, N. 1996. La pradera en la costa de la X región (Valdivia- Llanquihue) *In*: Ruiz, I. (ed.) Praderas para Chile. INIA. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. pp:579-589.
- USDA. 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil clasification for making and interpreting soil surveys. Second Edition. Agriculture Handbook Number 436.
- USDA. 2003. Keys to Soil Taxonomy. Ninth edition.