





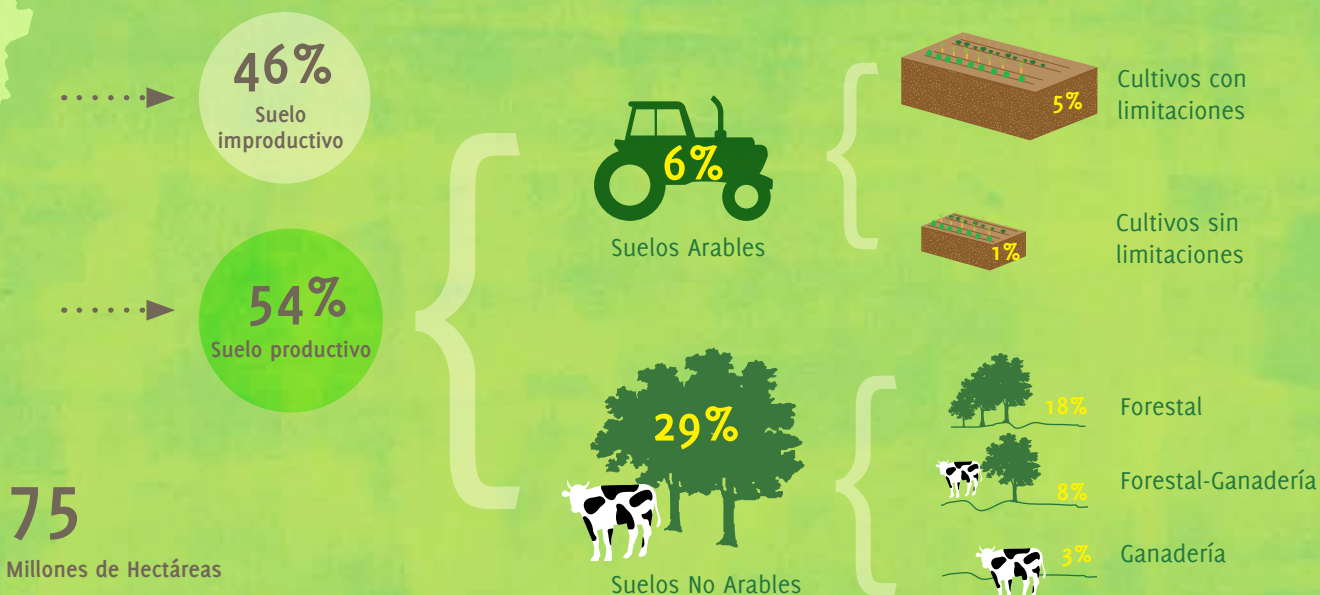
Capítulo 9

Suelos para Uso Silvoagropecuario

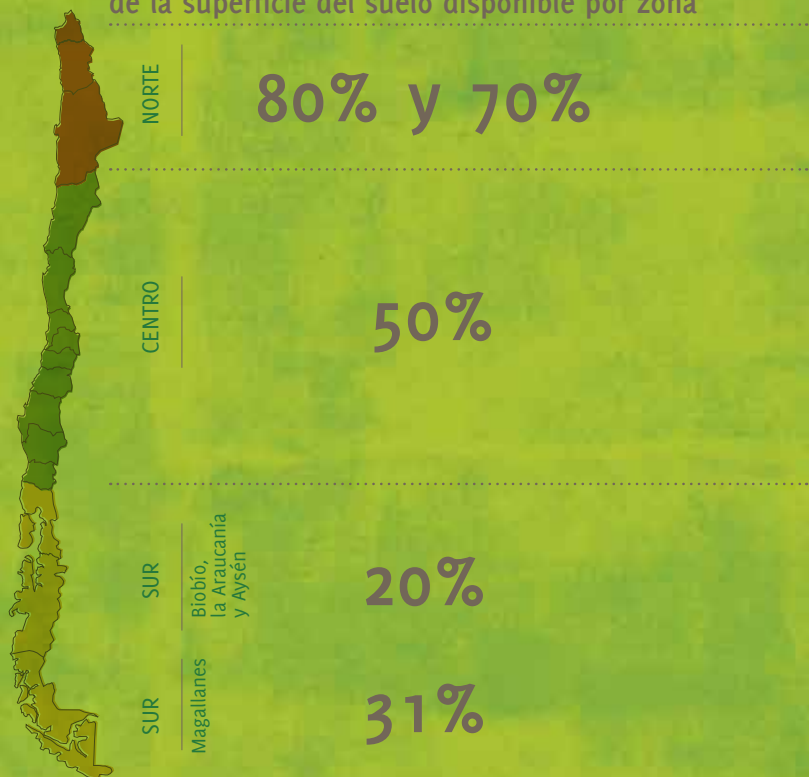
1) Antecedentes	371
2) Diagnóstico: Degradación de suelos en Chile	374
3) Causas de la degradación de los suelos	386
4) Acciones para proteger el suelo	392

Suelos en Chile

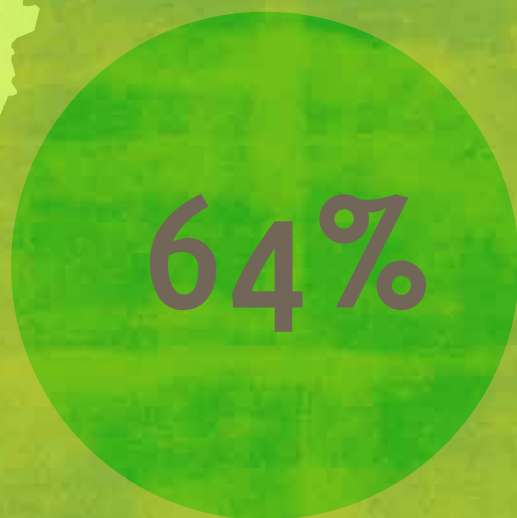
TERRITORIO NACIONAL CONTINENTAL



Erosión promedio (Moderada, Severa y Muy Severa) de la superficie del suelo disponible por zona



Erosión de la superficie nacional (del suelo disponible)



Introducción

Resumen / Abstract

El suelo cumple importantes funciones a nivel ecosistémico y silvoagropecuario, constituyéndose en un patrimonio ambiental necesario de proteger y conservar. Uno de los problemas más importantes que afectan a los suelos chilenos es la erosión, que si bien tiene causas naturales, también es generada y acelerada por la intervención humana. Actualmente, Chile no cuenta con un marco jurídico de protección específico para el suelo, sólo existen funciones, facultades y diversas regulaciones sectoriales que contribuyen indirectamente a su protección.

Antecedentes 1

La parte de la corteza terrestre donde se desarrolla la vida es sólo una pequeña fracción del planeta. Aunque todo lo que está bajo nuestros pies tiene incidencia en los fenómenos de la naturaleza, por formar parte de ella y participar en procesos dinámicos como el volcanismo o los sismos, el suelo corresponde a la capa más externa de la superficie terrestre, en la cual se desarrollan formas de vida. (CONAMA RM, 2002)

De esta manera, el suelo es un recurso natural que constituye un soporte fundamental para los ecosistemas, así como para el desarrollo de la vida de las personas. Si bien tradicionalmente se lo consideró renovable, su baja tasa de formación y recuperación obliga a potenciar su uso sustentable, asegurando una adecuada conservación.

A nivel ambiental, el suelo cumple importantes funciones, las cuales, en mayor o menor grado, son modificadas por los diversos tipos de intervención humana. Entre las funciones ambientales que cumple, se pueden mencionar:

- ▶ Proveer de una base física, química y biológica para organismos vivos.
- ▶ Suministrar, almacenar y regular los flujos hídricos.
- ▶ Dar soporte a la actividad biológica para la productividad de plantas y animales.
- ▶ Filtrar, degradar, inmovilizar, materiales orgánicos e inorgánicos, entre otras facultades.
- ▶ Proveer soporte físico para los organismos vivos y su estructura.
- ▶ Producir biomasa. Debe considerarse que en el caso de muchas plantas, más de 4/5 de su biomasa total se encuentra bajo la superficie.
- ▶ Reservorio de biodiversidad (bacterias, algas, hongos, tejidos subterráneos de plantas, protozoos, nematodos, insectos, ácaros, vertebrados temporales y permanentes).
- ▶ Regular ciclos biogeoquímicos (incidencia en efecto invernadero, captura CO₂, cambio climático).
- ▶ Descomponer residuos.
- ▶ Regular el ciclo del carbono y del nitrógeno.
- ▶ Filtrar sustancias contaminantes.
- ▶ Termoregulador

El suelo es, entonces, un componente de la naturaleza que tiene la dualidad de ser un recurso para el desarrollo y, al mismo tiempo, una interfase del medio ambiente. En consecuencia, el problema que surge es cómo hacer el mejor uso posible del suelo, preservando simultáneamente la función reguladora que cumple en toda la dinámica medio ambiental.

En el caso de Chile Continental, la superficie territorial supera los 75 millones de hectáreas, de las cuales aproximadamente 46% corresponde a suelos improductivos. Se estima que un 10% de dicha superficie tiene potencial agropecuario, pero la mayor parte con limitaciones, ya sea por su naturaleza y material parental, por profundidad, pedregosidad, topografía o problemas de desertificación. A ello se suman restricciones derivadas de la acción antrópica, por cambios en su destino de agrícola a urbano o industrial u otros usos no agrícolas como canteras de extracción de áridos, construcción de carreteras, embalses o para desechos industriales, de basura o residuos de procesos minerales (U. de Chile, 2010).

El territorio con aptitud para cultivos, sin limitaciones, corresponde a poco más del 1% del territorio nacional, unas 760 mil hectáreas (U. de Chile, 2010).

Cuadro 1 Capacidad de uso/aptitud agrícola de las tierras

CAPACIDAD DE USO		SUPERFICIE (Ha)	%
Suelos agrícolas arables	Cultivos sin limitaciones	764.164	1
	Cultivos con limitaciones	3.869.178	5
Subtotal arable		4.633.342	6
Suelos agrícolas no arables	Ganadería	2.271.144	3
	Ganadería-forestal	6.219.736	8
	Forestal	13.430.602	18
Subtotal no arable		21.921.482	29
Total agrícola		26.554.824	35
Suelos no agrícolas	Conservación y reservas de la naturaleza	14.200.000	18,7
Total productivo		40.754.824	53,8
Improductivo		34.869.936	46
Total territorio		75.624.760	100

Fuente: U. de Chile 2010. Las fuentes específicas citadas son las siguientes:

- (1) IREN. Herrera, B y Sandoval, F. Capacidad de uso de la Tierra: provincias de Atacama a Magallanes.
- (2) Santibáñez, Q., F *et al.* Clases de suelo según manejo y potencialidad, 1996.
- (3) CONAF-CONAMA: Catastro de bosque nativo, 1999.

Si bien en términos productivos la superficie territorial nacional es considerable, para el uso agrícola es bastante más escasa. En este contexto, el crecimiento de la población, procesos como la erosión y salinización de suelos, el agotamiento de napas freáticas, la degradación de la calidad de las aguas por lixiviación y arrastre de fertilizantes y pesticidas, así como la contaminación de suelos por depositación de emisiones atmosféricas, constituyen algunas de las mayores presiones para este recurso, soporte fundamental para el desarrollo de la vida (U. de Chile, 2010).

2 Diagnóstico: Degradación de suelos en Chile

La degradación de los suelos corresponde a la alteración de sus propiedades, debido a causas naturales o actividades humanas siendo su principal consecuencia la disminución de la productividad de los suelos. Esta degradación, a su vez, puede ser de tipo física, biológica o química.

Degradación física por erosión

En Chile, la degradación de suelos está explicada en gran medida por la erosión (CIREN, 2010) que, si bien en general tiene causas naturales, puede ser generada por actividades humanas asociadas a prácticas agrícolas inadecuadas. Asimismo, el país registra altos niveles de desertificación y áreas potencialmente contaminadas como consecuencia de actividades humanas.

Para conocer la situación nacional en materia de erosión, en 2010 el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) realizó el estudio *“Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile”*, abarcando una superficie de 75 millones de hectáreas, mediante la utilización de técnicas de geomática y teledetección.

De acuerdo con CIREN (2010), se puede distinguir que del total de la superficie territorial continental, alrededor de un 77%, es decir, unas 57,8 millones de hectáreas, corresponde a suelos, cifra que no considera suelos ocupados ya sea por asentamientos humanos, por cuerpos de agua, minería o que no pueden ser utilizados para alguna actividad agrícola, ganadera o forestal, como son áridos, material volcánico, nieve, relaves, rellenos, vertederos, playas y dunas.

Así, de la cantidad de suelo disponible en el país, un 64%, es decir, aproximadamente 36,8 millones de hectáreas, presentan algún tipo de erosión. En tanto, los suelos que muestran niveles de erosión mayores, entre moderada y muy severa, alcanzan un 49% del total, abarcando alrededor de 28,5 millones de hectáreas.

A nivel regional, el problema de la erosión se concentra en el territorio norte del país, con porcentajes superiores al 90% de los suelos regionales. En tanto, si se consideran sólo los niveles mayores de erosión, entre moderada a muy severa, estos porcentajes disminuyen, situándose entre un 70% y 80% de los suelos regionales. Cabe destacar que en esta zona la erosión es causada principalmente de manera natural.

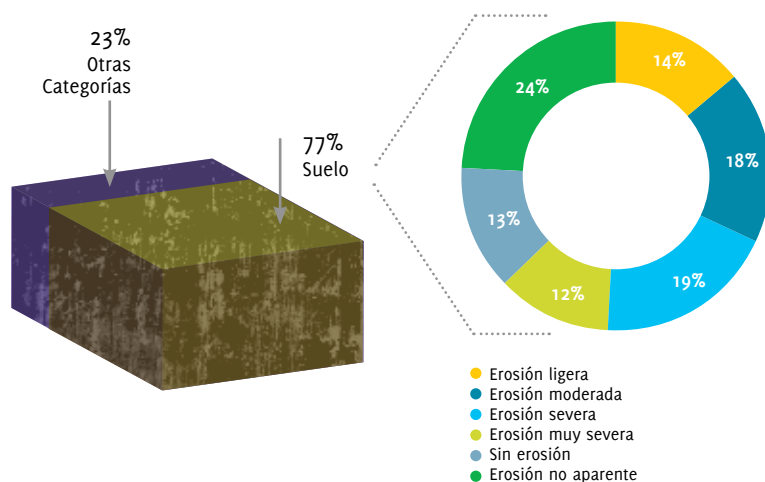


fig.

1

Erosión actual, en relación a la superficie total de suelos del país

Fuente: CIREN, 2010. Los totales pueden no corresponder a los sumandos, en virtud de la aproximación efectuada.

Por otra parte, en la zona central, entre la Región de Valparaíso y del Maule, la superficie con problemas de erosión moderada, severa y muy severa alcanza a más del 50% del territorio regional. A diferencia del norte, se trata de una erosión causada en gran medida por la intervención humana. Más al sur, en las regiones de Biobío, la Araucanía y Aysén, la erosión moderada, severa y muy severa ronda en torno al 20% de la superficie del territorio. La situación es distinta en la región de Magallanes, donde estos niveles de erosión llegan al 31% del territorio.

CIREN (2010) también evaluó el riesgo de erosión actual, referido al potencial del suelo de ser erosionado de mantenerse las condiciones actuales de vegetación. Para determinar este riesgo, se utilizó un modelo llamado Irepot¹, el que considera los factores involucrados en la erosión, tales como las propiedades del suelo, pendiente, altitud de ladera, exposición, uso actual, vegetación, etc.

De acuerdo con CIREN (2010), las regiones que tienen mayor superficie en riesgo de erosión en el futuro, de mantenerse las condiciones presentes, son Coquimbo, Valparaíso y del Libertador Bernardo O'Higgins. En tanto, el mayor incremento respecto a la situación actual, se registra en la Región del Biobío, en la cual el riesgo de erosión actual aumenta 40 puntos porcentuales respecto a la erosión base.

Asimismo, CIREN (2010) evaluó el riesgo de erosión potencial, el cual se refiere a la máxima tasa de erosión, considerando para ello un escenario en que se pierde la cobertura vegetal.

Como resultado de la aplicación de este modelo, el riesgo de erosión potencial entre moderada y muy severa se incrementa hacia el sur de Chile. Así, en las regiones de Los Lagos y Aysén, la erosión potencial llega a un 90%, mientras que la erosión actual es de 15% y 23%, respectivamente.

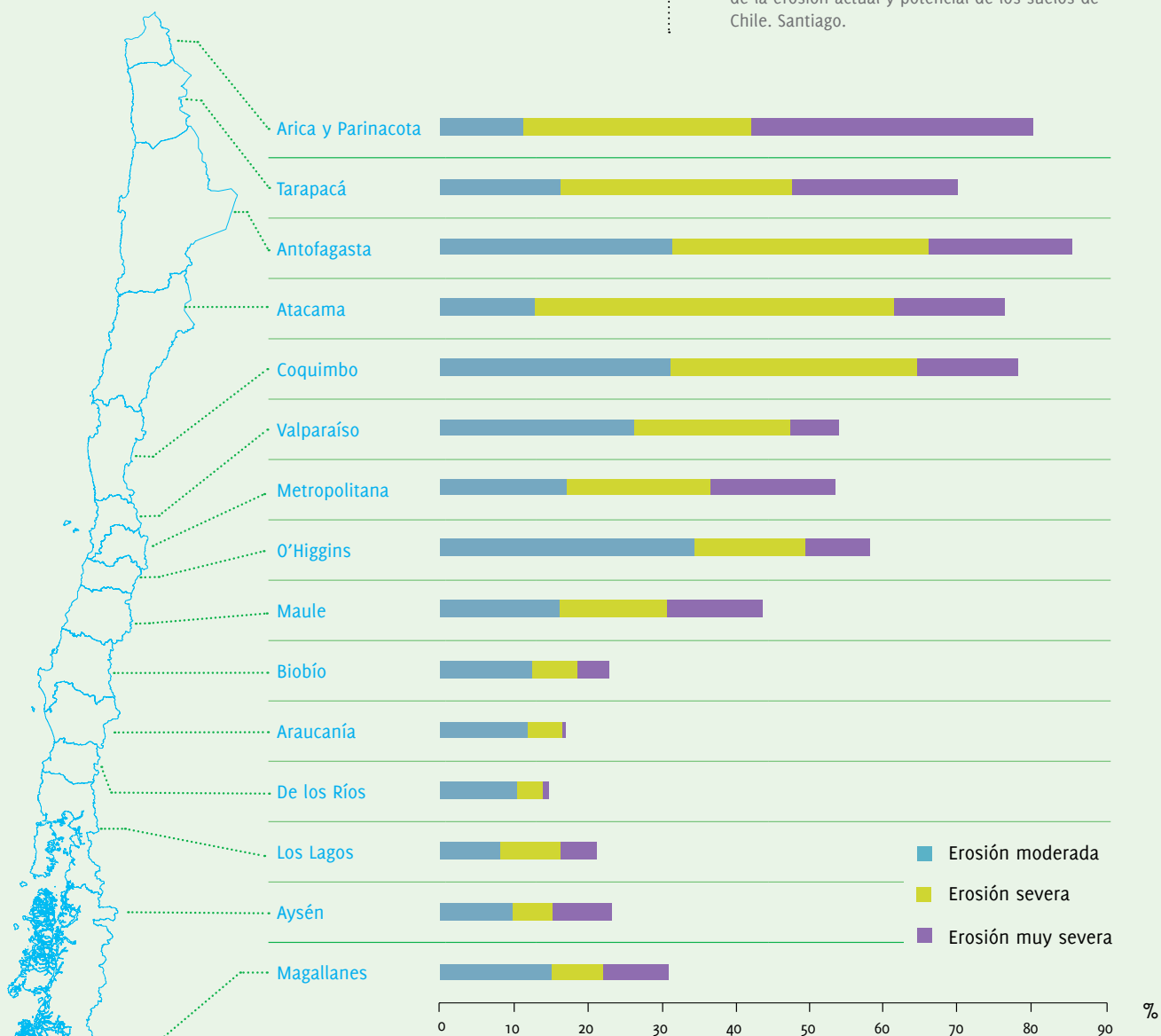
¹ El modelo IREPOT es el resultado de la combinación de cuatro grupos de variables básicas: topográficas-hidrológicas, agresividad de la lluvia, suelo y vegetación. A partir de éstas, se generaron distintos índices, que tratados con criterios mecanicistas y empíricos, utilizando herramientas de combinación espacial, permiten definir los índices resultantes.

fig.

2

Erosión actual en relación a la superficie regional de suelos, según categorías de erosión entre moderada a muy severa

Fuente: CIREN, 2010. Informe Final, Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Santiago.



La erosión se define como “el arrastre del suelo productivo por efecto del agua (erosión hídrica) o del viento (erosión eólica), desde su origen a esteros, ríos y mares u otros lugares, transformándolos en sustancia inerte, sin utilidad alguna y provocando daños por embarcamiento de ríos y puertos, formación de dunas, sedimentación de tranques, etc.”. (Elizalde, 1970 en Pérez y González 2001, p. 24). De acuerdo con CIREN (2010 p. 29), la erosión corresponde a un “proceso geomorfológico dinámico gradual que, junto a otros procesos denutativos (meteorización y remoción en masa) actúa permanentemente sobre el relieve terrestre, de tal forma de allanar las superficies hasta una condición de equilibrio estático”.

“Los mapas publicados en este informe que se refieran o relacionen con los límites y fronteras de Chile, no comprometen en modo alguno al Estado de Chile, de acuerdo al Artículo 2°, letra g del DFL 83 de 1979, del Ministerio de Relaciones Exteriores. La información cartográfica está referenciada al Datum WGS84 y es de carácter referencial”

► *Erosión eólica*

El viento genera en los suelos dos tipos de acción eólica: una, muy característica en las estepas de las regiones de Aysén y Magallanes, que no llega a formar dunas; y la otra, que consiste en la formación de las dunas típicas con la acumulación de arenas a causa de los vientos predominantes del suroeste en primavera y verano. La mayor parte de las dunas costeras actuales en Chile son el resultado de procesos erosivos de los suelos, cuyos sedimentos fueron arrastrados por los ríos a sus desembocaduras y luego transportados por los vientos dominantes al norte de las desembocaduras. El caso más grave del avance de una duna en tiempos modernos es el de Chanco (Araya, 2004 citado en U. Chile 2010, p. 247). Existen algunas excepciones de dunas cuyo origen es relictual, es decir, producto de un clima pasado como es el caso de la gran duna de Copiapó, cuya superficie original se ha estimado en 240 kilómetros cuadrados, o el de la duna de Iquique (Paskoff, 2004, citado en U Chile 2010, p.247).

De acuerdo con un estudio de CONAF (M. Gormaz, 1974 citado por U. de Chile 2010, p. 247) la superficie total de suelos cubiertos por dunas costeras y continentales alcanzaba a 131.008 hectáreas, sin incluir las dunas identificadas entre las ciudades de Arica y Copiapó.

Las dunas de la costa de Chile central son sistemas ecológicos frágiles que, además, están siendo afectadas por la demanda de suelos para la construcción de viviendas, debido al crecimiento de Valparaíso-Viña del Mar y Concón y, también por la demanda de una segunda vivienda, llevando a una degradación de estas dunas litorales (U Chile 2010, p. 247).

► *Erosión hídrica*

Es causada por la acción del agua corriente o de lluvia sobre el suelo. Su efecto depende de factores propios del material del suelo, de la pendiente, de la intensidad y frecuencia de las lluvias, de la escorrentía del agua y la formación de zanjas y canalículos activos de erosión. En la cordillera de la Costa de Chile central y centro sur “los suelos derivados de rocas ígneas presentan una susceptibilidad mayor a la erosión. Son suelos que presentan un subsuelo arcilloso de permeabilidad lenta y un sustrato de rocas descompuesta con escasa cohesión (maicillo) características que favorecen el escurrimiento superficial” (Peralta, J. y Peralta, M., 1990 citado por U. de Chile 2010, p. 247).

Asimismo, por el régimen de lluvias predominante en Chile con mayor intensidad y frecuencia en los meses de invierno, cuando los suelos están desprovistos de vegetación, se intensifica el efecto erosivo de las lluvias, más aún en lugares donde todavía se emplea el sistema de cultivo de barbecho que deja



Fotografía: Claudia Cortés

2] El texto de la Convención UNCCD establece también el concepto “tierra” como objeto jurídico internacional y lo define como el “sistema bio-productivo terrestre conformado por los suelos, la vegetación, otros componentes de la biota, los procesos ecológicos y los procesos hidrológicos que se desarrollan dentro del sistema” (art. 1, letra e).

3] “Las sequías en Chile se presentan con cierta periodicidad asociada a la oscilación climática del sur (Fenómeno del Niño y la Niña); particularmente “La Niña” genera condiciones de extremas y prolongadas sequías. Este fenómeno se relaciona a la temperatura del océano Pacífico, cuando se produce un enfriamiento de las aguas de dos a tres grados centígrados por debajo de su temperatura normal, los centros de altas presiones se estacionan fijos por largos periodos, impidiendo el desarrollo de masas nubosas en territorios costeros y continentales, provocando escasez de precipitaciones” (FAO 2010, p. 17).
“En un periodo de 400 años, en Chile se han registrado poco más de 100 años secos, la mitad de los cuales son muy secos.” (Norelo y Bonilla, 1999 citado por FAO 2010 p. 17).

Continúa en pagina siguiente

el suelo descubierto, sin vegetación (muy común en zonas del secano central). Se han observado pérdidas de suelo en lugares seleccionados (Cauquenes, Galvarino y Litueche en la década de los noventa) que van desde más de 2,5 toneladas por hectárea (en Litueche y Galvarino) hasta 6,64 toneladas por hectárea (Galvarino) y 8,8 toneladas por hectárea (Cauquenes) (Honorato, R. et al. 2001, citado en U. Chile 2010, p. 247)

Desertificación

La erosión también constituye un factor que influye en la desertificación. Este fenómeno se refiere a la degradación de la tierra, esto es, la pérdida de productividad económica o biológica de los ecosistemas en zonas áridas semiáridas y sub-húmedas secas por diversas causas, tales como la acción humana o la variabilidad del clima (UNCCD, 1994, artículo 1, letra a). Se trata de un proceso gradual que tiene consecuencias ambientales, como la pérdida de flora y fauna y también efectos socioeconómicos, como pobreza y migración.²

La desertificación constituye un problema de relevancia mundial, que avanza sobre un tercio de la superficie mundial y afecta gravemente a cerca de 2.000 millones de personas.

Generalmente, la desertificación tiende a confundirse con el término sequía, concepto meteorológico-hidrológico³. Pese a que son fenómenos de naturaleza diferente se influyen mutuamente. En este sentido, es importante señalar que



la presentación de eventos de sequía puede ocurrir bajo condiciones tanto húmedas como secas, pudiendo exacerbar los procesos que dan lugar a la desertificación. Por otro lado, la prevención y control de uno o varios procesos de degradación de las tierras no va a reducir la presentación de episodios de sequía, pero sí contribuirá a la mitigación de sus efectos. En todo caso, son mucho más evidentes los efectos de la sequía que se dan en el corto plazo, que los de degradación de tierras que, normalmente, se producen casi de manera imperceptible y se manifiestan en horizontes de mediano-largo plazo.

A nivel mundial, Chile es uno de los países más afectados por el avance del desierto, la desertificación, la degradación de las tierras y la sequía, en un nivel de afectación sólo comparable al de los países del África Sub-Sahariana.

Las principales causas de la enorme magnitud de la desertificación y avance del desierto que se experimentan, están asociados a los procesos de deforestación que de manera histórica ha sufrido el país, entre los cuales se encuentran los incendios forestales y los procesos subsecuentes de cambio de uso de la tierra.⁴

Las primeras fases de deforestación masiva en el país se pueden asociar a la expansión de la minería, la exportación triguera y la colonización de del sur de Chile desde mediados del siglo XIX. En el siglo XX, la deforestación masiva continuó en la colonización de la región de Aysén, la deforestación del Norte Chico, relacionada con la crisis del salitre y en el sur como consecuencia de los grandes incendios de alerzales en la cordillera de la Costa.

3] Desde el punto de vista meteorológico, la sequía puede definirse como una condición anormal y recurrente del clima que ocurre en todas las regiones climáticas de la tierra. Este fenómeno se caracteriza por una marcada reducción de la cantidad de precipitación que puede producir serios desbalances hidrológicos. En términos hidrológicos, se habla de sequía cuando se presenta una precipitación menor a la media estacional en escala regional, lo que se traduce en un nivel de aprovisionamiento anormal de los cursos de agua y de los reservorios de agua superficial o subterránea. Hay una disminución de los recursos hídricos por debajo de un nivel determinado durante un periodo dado de tiempo. Conceptos extraídos de Tecnociencia, el Portal español de la Ciencia y la Tecnología.

4] El número promedio de incendios forestales en Chile es de 5.530 y se queman anualmente un promedio de 51.797 hectáreas de las cuales, en general, 22.395 hectáreas corresponden a bosques.

Por su parte, actualmente, malas prácticas agropecuarias, los efectos del cambio climático, el crecimiento de la población, el avance de las ciudades y la expansión de la economía, constituyen presiones crecientes, particularmente, sobre los recursos naturales.

En 1999, CONAF realizó el *Mapa preliminar de la desertificación en Chile*, el cual consideró originalmente cinco indicadores: erosión, pobreza, índice de xerofitismo, longitud del periodo seco y un indicador de tendencia. Con estos resultados, se estableció que de las 290 comunas rurales, 270 (93%) presentaban algún grado de desertificación, de las cuales 76 (27%) correspondían a comunas afectadas gravemente por desertificación y 108 (36%) se encontraban en categoría moderada de desertificación.

En el año 2005, CONAF realizó un análisis detallado de las áreas afectadas por desertificación, degradación de la tierra y sequía, a fin de establecer áreas posibles de ser intervenidas. Los resultados del análisis señalan un total de 11.803.351,2 hectáreas correspondientes a áreas de primera prioridad de intervención a nivel nacional. Asimismo, se identificó un total de 10.359.815 hectáreas correspondientes a áreas de segunda prioridad de intervención a nivel nacional.

Degradación biológica

Los microorganismos juegan un rol importante en el ciclo de carbono, del nitrógeno y otros elementos para mantener la fertilidad y sostener el crecimiento de las plantas. La disminución de los microorganismos genera una degradación biológica que es, en gran parte, el resultado de la utilización que el hombre hace de los suelos para diferentes actividades (Contreras 2005, citado en U. de Chile 2010, p. 249). La degradación biológica, es decir, la alteración de la flora microbiana, es causada por riego con aguas contaminadas, el abuso de agroquímicos y el uso excesivo del fuego para limpiar los campos, factores que se adicionan a los efectos de la erosión (U. Chile, 2010).

El uso intensivo en suelos de alta fragilidad ha conducido a severos procesos de degradación. El riego con aguas contaminadas de elementos químicos o minerales pesados contribuye a una degradación biológica, así como el uso de fertilizantes, insecticidas y herbicidas químicos que afectan a la biodiversidad natural de los suelos. El uso del fuego para eliminar o controlar la vegetación natural o la quema de rastrojos de la actividad forestal o agrícola también afecta a la biodiversidad de los suelos, además de la vida silvestre. La invasión de malezas, pestes y enfermedades son también parte de una degradación biológica no erosiva del suelo. En Chile, no existen datos respecto a suelos degradados biológicamente, pero éstos estarían asociados a las tierras erosionadas (U. Chile 2010, p. 249).

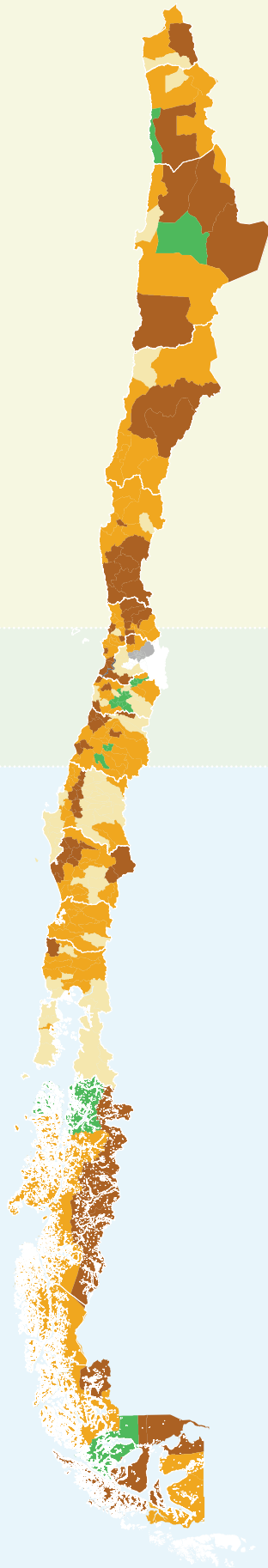


fig.

3

**Mapa de la desertificación,
CONAF, 1999**

Fuente: Ministerio de
Agricultura, CONAF, 1999.

ZONA NORTE

ZONA CENTRO

ZONA SUR

Desertificación

-  Grave
-  Moderada
-  Leve
-  No afectada
-  Sin información
-  Urbano

“Los mapas publicados en este informe que se refieran o relacionen con los límites y fronteras de Chile, no comprometen en modo alguno al Estado de Chile, de acuerdo al Artículo 2°, letra g del DFL 83 de 1979, del Ministerio de Relaciones Exteriores. La información cartográfica está referenciada al Datum WGS84 y es de carácter referencial”

Degradación química

La degradación química es una consecuencia de la salinización, alcalinización, acidificación y contaminación de suelos, problemas que frecuentemente se pueden asociar a las descargas no tratadas de residuos industriales líquidos de la industria y de la minería en el norte del país, como también a la contaminación por agroquímicos y por la deposición de emisiones atmosféricas.

En cuanto a la acidificación, en las regiones de Los Ríos y de Los Lagos se localizan los suelos más ácidos del país, los que han perdido sus nutrientes y donde la acidificación es producto de las intensas lluvias que afectan a dichas regiones (U. de Chile 2010, p. 250).

Salinización y alcalinización

Salinización y alcalinización son dos problemas recurrentes en el norte del país con la acumulación, en el primer caso, de sales solubles en el perfil del suelo como cloruros y sulfatos, básicamente por problemas de drenaje, agravados por el alto contenido de sales de las aguas que se utilizan en el regadío. Es un problema antiguo y conocido por las poblaciones indígenas de las regiones de Arica, Tarapacá y Antofagasta que aplicaron el sistema de riego de “canchones”, utilizando grandes volúmenes de agua con el objeto de disolver las sales en el perfil superior del suelo e infiltrarlas a perfiles más profundos, permitiendo así los cultivos. Sin embargo, algunos “ayllus” (comunidades familiares quechuas o aymaras) agrícolas de San Pedro de Atacama fueron abandonados por la salinización de los suelos y el avance de las dunas (U. Chile 2010, p. 249).

Más al sur, en las regiones de Atacama y de Coquimbo, la expansión de los cultivos de frutales, especialmente uva de mesa y el uso de riego tecnificado (goteo y aspersión), ha incrementado la superficie de suelos con acumulación de sales. En el valle de Copiapó se estima que el 65% de las tierras arables están afectadas por la salinización. La superficie afectada por este efecto se estimaba en 1994 en 34.000 hectáreas (Peralta, 1994, citado por U. de Chile 2010, p. 250).

La alcalinización, por otro lado, es la acumulación de sales insolubles, principalmente carbonato de sodio, afectando la permeabilidad de los suelos, fenómeno recurrente en los valles de las regiones del norte, en los valles transversales del Norte Chico y en las comunas de Colina, Lampa y Pudahuel de la región Metropolitana (U. de Chile 2010, p. 250).

Contaminación de suelos

En el país existen algunos estudios que se han enfocado a investigar suelos impactados por actividades agrícolas y mineras. Una de estas investigaciones, realizada hacia fines de los años 80' por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias en sectores agrícolas entre la región de Coquimbo a la de Aysén, determinó que la presencia de metales en las capas superficiales de los suelos agrícolas se encontraban en rangos asociados a procesos naturales, mientras que en el sur de Chile los suelos registraron una muy baja presencia de metales (INIA, 1990).

En tanto, en los valles del Aconcagua, Mapocho y Cachapoal y en la zona de Puchuncaví, se encontró concentración inusual de metales pesados, específicamente en sectores aledaños a centros mineros (González, S, en CONAMA 1995, p.217). En el caso de los valles del Aconcagua y Puchuncaví, junto a la alta concentración de cobre se encontró presencia de plomo, cinc, cadmio y arsénico, lo que indicaría un origen común.

Por su parte, en 2003, la Universidad Católica de Valparaíso realizó un estudio para monitorear los niveles de cobre, arsénico y antimonio en los suelos agrícolas afectados o no afectados por la actividad minera, en las regiones de Tarapacá, Antofagasta y Valparaíso. De acuerdo con esta investigación, que comparó las mediciones de lugares afectados por la actividad minera con suelos de similares características, a efectos de control, se determinó que la concentración de cobre en suelos no contaminados de la zona norte y centro del país son similares. En tanto, en los suelos de Mamiña, Chiu-chiu y Antofagasta Norte, se encontraron altas concentraciones de cobre, que demuestran niveles de contaminación por este elemento.

Asimismo, se encontraron altos niveles de concentración de arsénico en los suelos de Calama y Quillagua, localidades ubicadas en el valle del Loa, que mediante el río Salado, es impactado por el campo geotermal El Tatio, contaminado naturalmente con este elemento (De Gregory *et al.* 2003 p. 293). En tanto, en los suelos de Puchuncaví y Catemu se encontraron importantes niveles de contaminación por cobre, arsénico y antimonio. En el primer caso, los niveles exceden los valores críticos definidos en el estudio, los cuales disminuyen en función de la distancia al complejo industrial Las Ventanas (De Gregory *et al.* 2003, p. 294).

De acuerdo con el estudio, las altas concentraciones de arsénico en suelos de la región norte se explican por la presencia de material volcánico formado durante la era terciaria y cuaternaria y también por el riego de suelos agrícolas con aguas con alta concentración de arsénico.

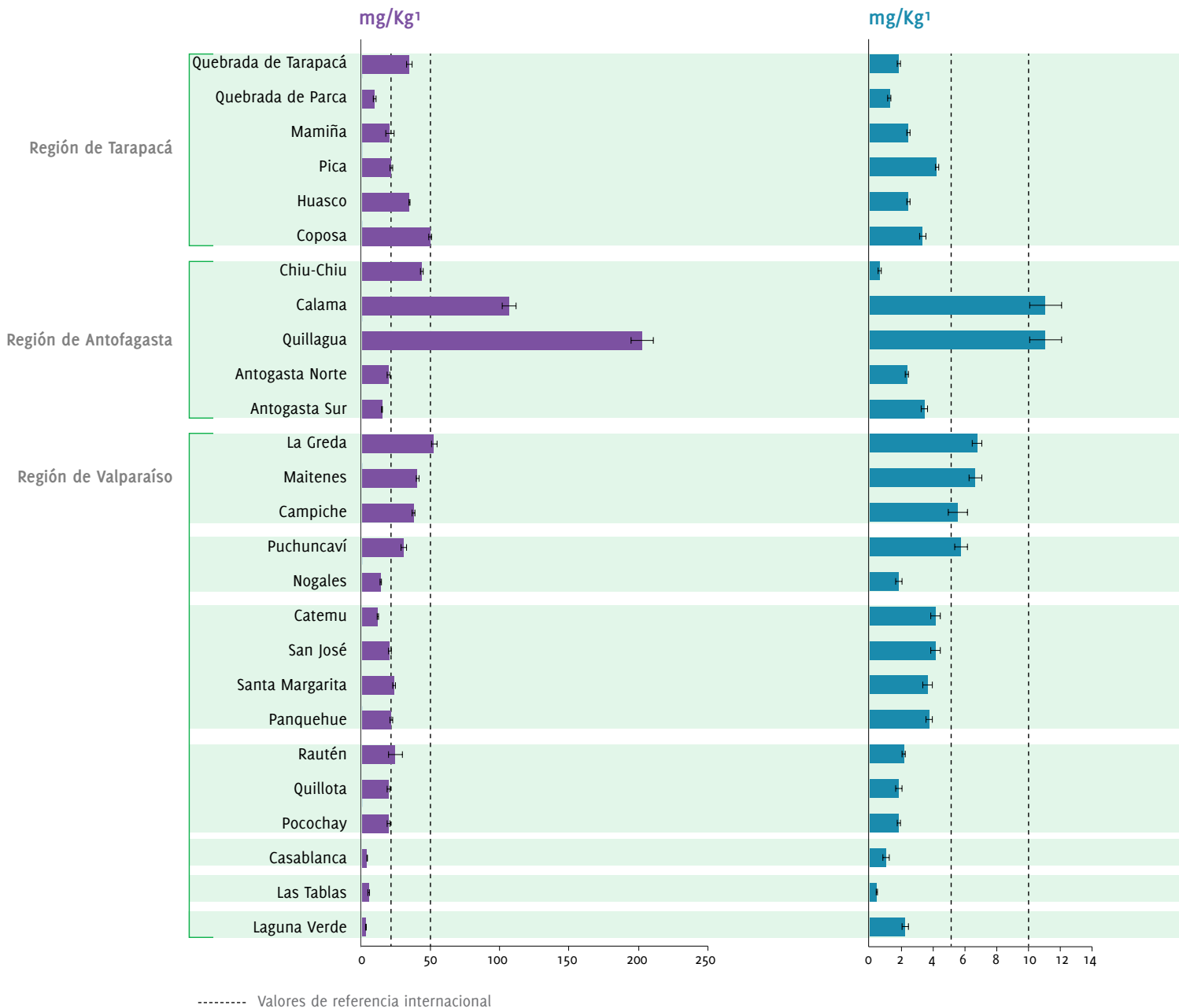
Por su parte, en relación a Puchuncaví y Catemu, concluyen que la concentración de cobre, arsénico y antimonio detectada se debe a fuentes de contaminación de la industria del cobre y de plantas termoeléctricas (De Gregory *et al.* 2003, p. 295).

As

Elemento químico, que se puede encontrar en la tierra en bajas concentraciones. Es un elemento altamente tóxico.

Sb

Elemento químico muy abundante en la naturaleza, se puede encontrar en suelos, agua y aire, pero en bajas concentraciones. La exposición a este elemento en forma continua tiene efectos negativos en la salud de las personas.



Cu

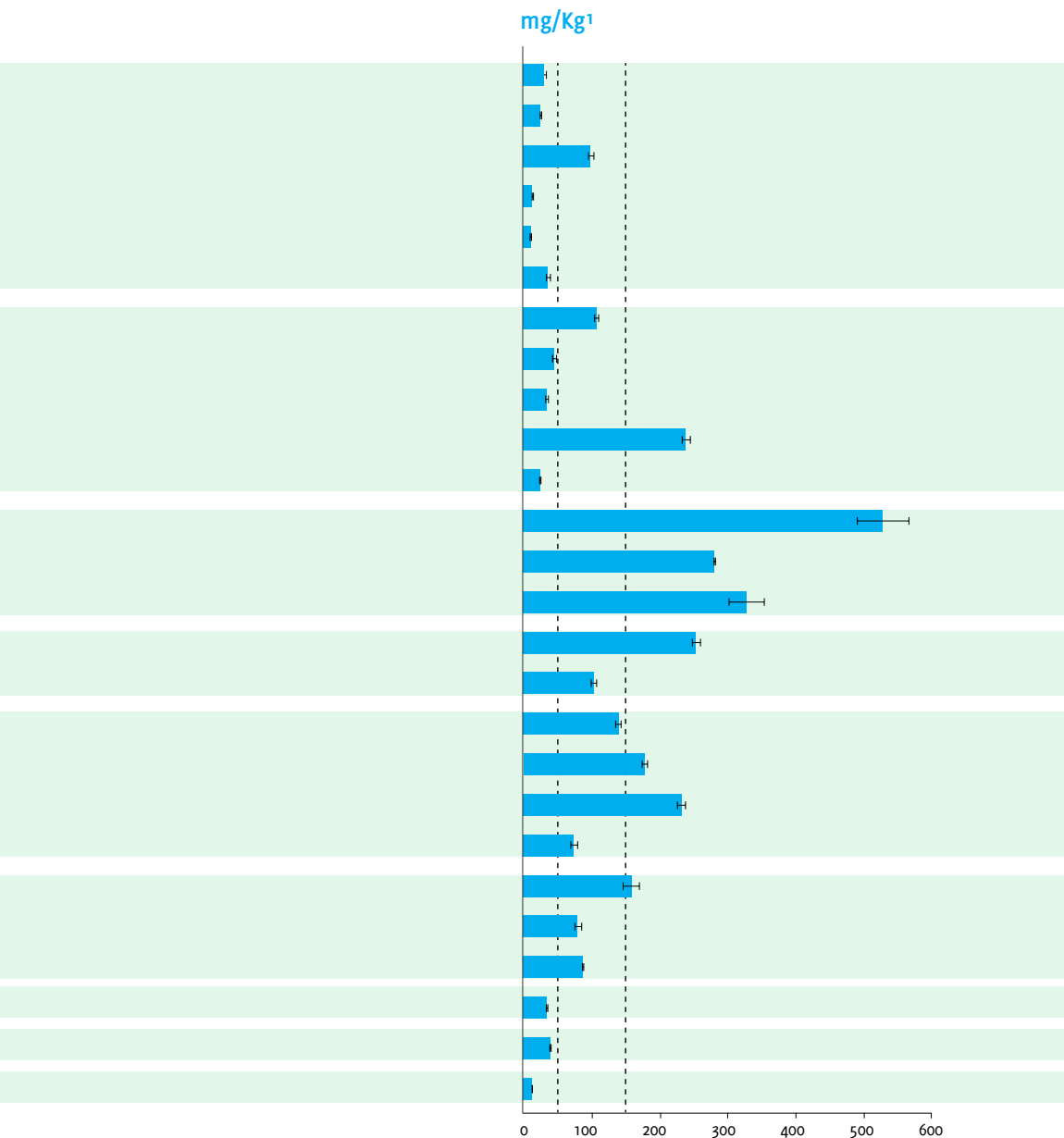
Metal que se encuentra en la naturaleza, pero que también puede ser liberado por actividades humanas. Si bien el cobre es importante para la salud de las personas, en concentraciones muy altas puede generar impactos negativos.

fig.

5

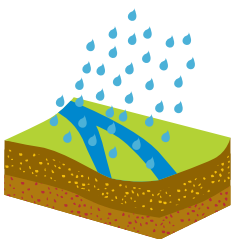
Niveles de concentración de cobre, arsénico y antimonio en suelos de Tarapacá, Antofagasta y Valparaíso

Fuente: De Gregory et al. 2003.



Causas de la degradación de los suelos

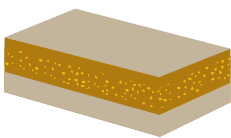
1 Condiciones climáticas



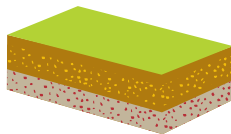
2 Relieve



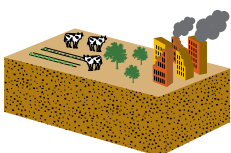
3 Características del suelo



4 Material de origen



5 Usos del suelo



De acuerdo con Peralta (1994), existen varios factores que condicionan la degradación de los suelos, tales como el clima, las características del sustrato, el relieve, la vegetación y los usos del suelo, según se detalla a continuación:

Condiciones climáticas: fundamentalmente asociadas a las precipitaciones, las cuales se presentan en el periodo invernal, momento en el cual el suelo está más desprovisto de vegetación. Esta condición es especialmente relevante en la agricultura, en particular cuando los terrenos se encuentran en preparación para la siembra.

Relieve: Chile presenta un 80% del territorio con pendientes, constituidas por cerros o montañas. En las pendientes la erosión es mayor y se acrecienta por la longitud, forma y exposición.

Características del suelo: se refiere a las propiedades físicas y químicas de los suelos. Por ejemplo, aquellos derivados de material granítico y terrazas marinas en la costa y derivados de tobas y cenizas volcánicas antiguas, son más susceptibles a la erosión.

Material de origen: se refiere a la formación del suelo. Derivados de rocas ígneas y metamórficas son más susceptibles a la erosión que los derivados de rocas sedimentarias.

Usos del suelo: el uso que el hombre hace del suelo constituye uno de los factores que más influye en la degradación de este recurso. Prácticas agrícolas, avance de las ciudades, aumento de la población, sobrepastoreo, incendios forestales, actividad industrial y deforestación, son acciones que han acelerado la degradación y pérdida de suelo en el país.

Causas de la degradación física

La erosión está determinada por variados factores que ocurren simultáneamente en gran parte del territorio. Las condiciones climáticas, en especial la intensidad de las lluvias, el relieve montañoso que abunda en pendientes, los suelos susceptibles a la erosión, como los derivados de rocas graníticas y metamórficas y el volcanismo andino. Las erupciones del Cordón Caulle, en 2011 y del Chaitén, el año 2008, demostraron cuán grave puede ser la amenaza de los volcanes. Por último, y no en menor grado, los usos y técnicas inapropiados con que el hombre explota y usa los suelos inician y refuerzan los procesos naturales de erosión (U. de Chile, 2010).

Cuadro 2 Factores y Causas de la erosión en las grandes regiones del país

GRANDES REGIONES NATURALES	REGIONES O ZONAS	TIPOS DE EROSIÓN	CAUSAS
Norte Grande y Chico	Región de Tarapacá a Atacama: cordones y estribaciones andinas en la región de Coquimbo.	Eólica. Hídrica en zona altiplánica geológica ⁵ en cordillera y sierra.	Topografía de montañas y pendientes fuertes. Suelos erosionables. Sobrepastoreo. Aumento de la población. Superficie predial insuficientes.
Cordillera de la Costa y planicies	Región de Coquimbo	Hídrica y eólica. Formación de dunas litorales.	Topografía de cerros y lomajes. Suelos fácilmente erosionables. Cultivos en suelos no arables. Tala de matorral semidesértico. Sobrepastoreo. Superficie predial insuficientes.
	Región de Valparaíso a Biobío	Hídrica. Eólica en sector costero. Formación de dunas litorales.	Topografía de cerros y lomajes. Suelos fácilmente erosionables. Cultivos en suelos no arables. Tala de bosque esclerófilo. Sobrepastoreo. Incendios y quemas forestales Superficie predial insuficientes.
	Región a la Araucanía a Los Lagos	Hídrica. Eólica en sector costero.	Topografía de cerros y lomajes Explotación indiscriminada del bosque nativo. Habilitación de suelos de aptitud forestal para agricultura y ganadería.
Precordillera andina	Región de Valparaíso a Metropolitana	Hídrica	Topografía de cerros y pendientes fuertes. Tala de matorral y bosque esclerófilo andino. Incendios y quemas de matorrales y pastizales.

⁵] Erosión geológica se refiere a la erosión natural.

GRANDES REGIONES NATURALES	REGIONES O ZONAS	TIPOS DE EROSIÓN	CAUSAS
Precordillera andina	Región del Libertador B. O'Higgins a Los Lagos	Hídrica y eólica	Topografía de lomajes ondulados /inclinados. Cultivos en suelos no arables. Tala de bosque mesofíticos e hidrofítico. Quema de rastrojos. Barbecho descubierto.
Cordillera andina volcánica		Hídrica y geológica	Región escasamente estudiada.
Cerros y lomajes del llano central	Región de Valparaíso a Los Lagos	Hídrica	Topografía de lomajes ondulados /inclinados. Suelos fácilmente erosionables entre Biobío y Los Lagos. Cultivos en suelos no arables. Tala de bosque mesofíticos e hidrofítico. Quema de rastrojos. Barbecho descubierto.
Patagonia	Región de Los Lagos a Magallanes	Hídrica y eólica	Cordillera con cumbres escarpadas y mesetas. Alta precipitación en la cordillera e intensos vientos en la estepa patagónica. Suelos erosionables en la estepa patagónica. Sobreutilización la pradera. Explotación indiscriminada del bosque nativo. Habilitación de suelos de aptitud forestal para agricultura y ganadería.

Fuente: Pérez y González, 2001. p. 22-23.

Deslizamientos de tierras

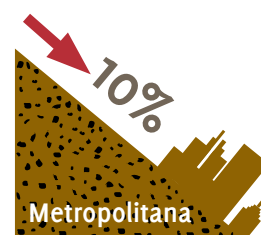
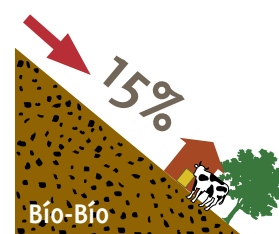
Grandes deslizamientos de tierra generan la pérdida de suelo y de vidas humanas, de animales, vida silvestre, vegetación y biodiversidad. Por su topografía montañosa, con volcanes activos y con una historia sísmica, Chile es un país propenso a los deslizamientos de tierra, avalanchas, derrumbes, aluviones y otros fenómenos de naturaleza similar. La mayoría de los 1.262 deslizamientos registrados en el periodo 1910-2005 ocurrió en las regiones de Valparaíso (25%), Biobío (15%), Los Lagos (12%) y Metropolitana (10%).

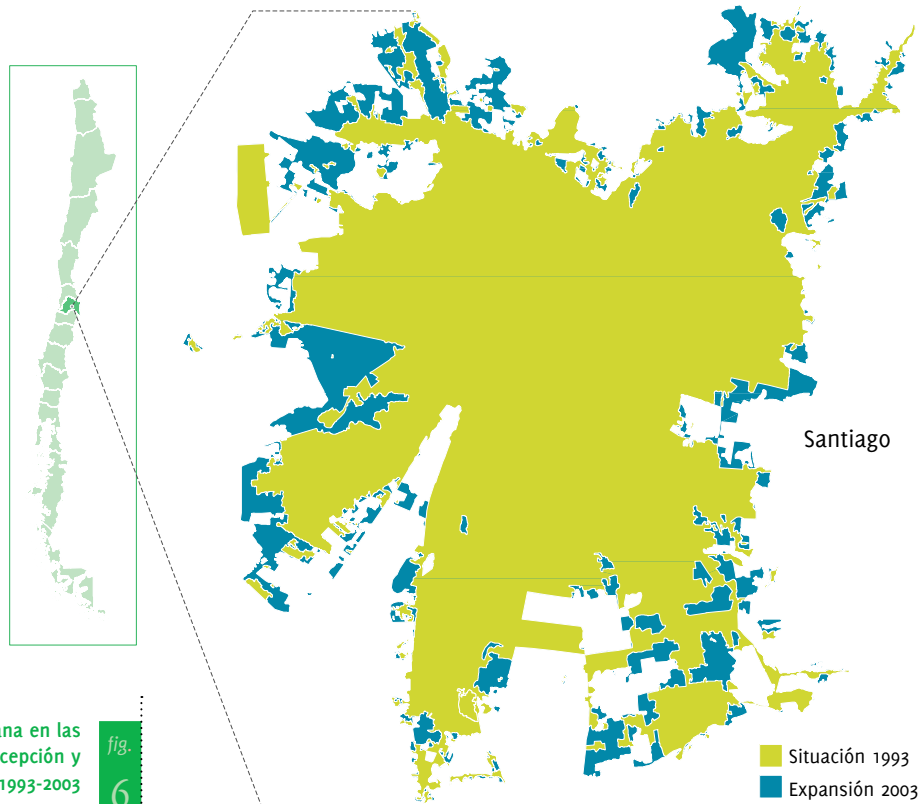
Uno de los casos más recientes se dio con la erupción del volcán Chaitén en el 2008. A causa de ese suceso y por la acumulación de material piroclástico y de cenizas acompañado de fuertes lluvias, se generaron verdaderas corrientes de barro y cenizas que sepultaron el poblado de Chaitén, el que tuvo que ser desalojado y trasladado a otro emplazamiento. Si bien no se perdieron vidas humanas, han sido enormes los efectos psicológicos en la población por el desarraigo, la pérdida de animales, de vida silvestre y vegetación natural.

Por otra parte, la expansión urbana es uno de los procesos que enfrenta, en conflicto permanente, las necesidades crecientes de la ciudad con las tierras productivas a las cuales se expande, lo que se traduce en incrementos significativos en la presión sobre los recursos naturales y en la utilización de insumos químicos con costos ambientales crecientes. En el año 2005 la superficie de ciudades y pueblos era de 231 mil hectáreas y ya había experimentado un crecimiento de 49,2 mil hectáreas en los seis años anteriores. Hoy día, los terrenos urbanos ocupan el 0,3% del total nacional. Esta expansión ocurre, por lo general, a costa de tierras agrícolas muy productivas que rodean las ciudades, situación que en el caso de Santiago- significó que se sustituyeran 34,4 mil hectáreas tan sólo entre 1998 y 2004 (U. de Chile 2010, p. 264).

De acuerdo al MINVU (2007), más de la mitad del suelo urbano ocupado (54,9%) se concentra en tres áreas metropolitanas (94.252 ha). Santiago ocupa el 40,7% (69.782 ha); Concepción el 7,8% (13.354 ha); Valparaíso el 6,5% (11.116 ha).

Precisamente, en la figura 6, es posible apreciar la expansión urbana registrada en estas tres ciudades, en un período de diez años.

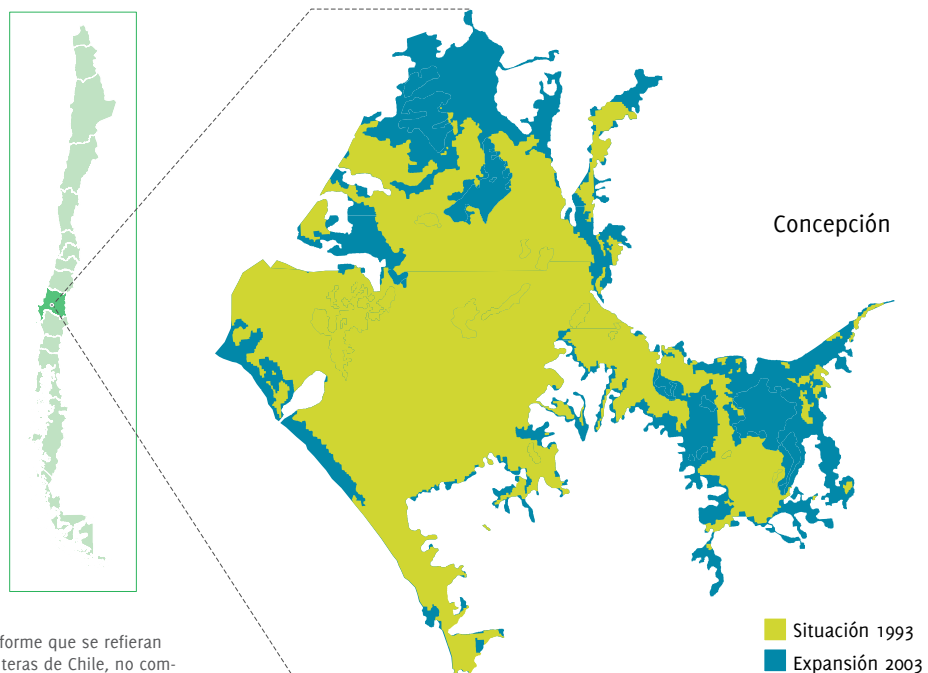




Mapa expansión urbana en las ciudades de Santiago, Concepción y Valparaíso 1993-2003

fig. 6

Fuente: Observatorio Urbano del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.



“Los mapas publicados en este informe que se refieren o relacionen con los límites y fronteras de Chile, no comprometen en modo alguno al Estado de Chile, de acuerdo al Artículo 2º, letra g del DFL 83 de 1979, del Ministerio de Relaciones Exteriores. La información cartográfica está referenciada al Datum WGS84 y es de carácter referencial”



Causas de la degradación biológica y química

La degradación química del suelos es generada principalmente por procesos productivos que generan o utilizan sustancias químicas. Estos procesos productivos están asociados a la actividad minera e industrial, así como también a la utilización de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas) para mejorar la producción y calidad de los productos agrícolas.

Dentro de los plaguicidas, se ha dado especial atención a los plaguicidas organoclorados, insertos dentro del Convenio de Estocolmo (aldrín, clordano, DDT, dieldrín, endrín, heptacloro, mirex y toxafeno), conocidos como compuestos orgánicos persistentes (COP's), porque causan efectos nocivos irreversibles en la salud (mutagenicidad y carcinogenicidad), así como también contaminación en los suelos. Las características más destacadas de muchas de estas sustancias químicas son su alto grado de persistencia en el medio y que pueden ser transportados a grandes distancias. Al ser compuestos artificiales, las bacterias y demás organismos no pueden descomponerlo y degradarlos fácilmente. En el ser humano tienen efectos acumulativos, almacenándose en los tejidos grasos, por efecto de la cadena alimenticia. Adicionalmente, pueden tener efectos hormonales.

El uso de plaguicidas en exceso, y de aquellos no degradables, puede provocar contaminación de la vegetación por la absorción desde los suelos o por contaminación superficial de las plantas. La vegetación contaminada puede comprender plantas cultivadas y otras fuentes de alimentación para las personas, el ganado y la fauna silvestre, de este modo se pueden provocar efectos adversos a grandes distancias de la fuente de emisión.

La degradación biológica y química de los suelos genera impactos económicos y sociales, tanto porque puede limitar la comercialización de los productos, como también generar pérdidas en materia de productividad o uso del suelo.

Acciones

4 para proteger el suelo

Chile aún no cuenta con un marco jurídico de protección específico para el suelo, si bien existen funciones, facultades y diversas regulaciones sectoriales que contribuyen indirectamente a su protección. Asimismo, el país debe generar niveles de referencia que definan estados de concentración de contaminantes que sean aceptables. En este contexto, la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, modificada en 2010, señala que “la ley velará porque el uso del suelo se haga en forma racional, a fin de evitar su pérdida y degradación” (artículo 39), agregando además que “el Ministerio del Medio Ambiente, administrará la información de los programas de medición y control de la calidad ambiental del aire, agua y suelo para los efectos de velar por el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación” (artículo 33). Asimismo, otorga facultades específicas respecto a proponer políticas y formular normas, planes y programas en materia de suelos contaminados (artículo 70, letra g).

Uno de los instrumentos relevantes para velar por la protección señalada en la ley, es el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Efectivamente, en el artículo 10°, letra m, se establece que deberán someterse al sistema de evaluación ambiental aquellos “proyectos de desarrollo o explotación forestal en suelos frágiles, en terrenos cubiertos de bosque nativo, industrias de celulosa, pasta de papel y papel, plantas astilladoras, elaboradoras de madera y aserraderos, todos de dimensiones industriales”. Asimismo, especifica que deberán presentar un estudio de impacto ambiental aquellos que generen “efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo” (artículo 11 letra b).

Por otra parte, Chile cuenta con regulaciones en torno al uso del suelo. Desde la perspectiva de la planificación urbana y el desarrollo físico rural, el uso del suelo está regulado por la ley General de Urbanismo y Construcciones (DFL 458, 1975, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo), la cual define los usos de suelo a través de los Instrumentos de Planificación Territorial (IPT): Plan Regional de Desarrollo Urbano, Plan Regulador Intercomunal o Metropolitano, Plan Regulador Comunal, Plan Seccional y límite urbano.⁶

6] El año 2002, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo inició un proceso de actualización y revisión de los instrumentos de planificación territorial, con el objetivo de modernizar la planificación y desarrollo territorial, incorporando la variable ambiental.

Con relación al sector agrario, la Ley 18.755 establece normas sobre el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), definiendo que es el encargado de resguardar el uso y conservación del suelo. Dicha normativa, deroga la Ley N° 16.640 y otras disposiciones, y estipula que la autorización de un cambio de uso de suelo rural, conforme lo establece el artículo N° 55 del la Ley General de Urbanismo y Construcciones, requiere un informe del SAG. Asimismo, dicho servicio debe velar por el cumplimiento de la normativa en casos de subdivisión de predios.

Por otra parte, existen planes y programas estatales con efectos en la protección del suelo, entre los cuales destacan el Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD) y el Programa de Plantaciones Forestales (Decreto Ley N° 701, 1974, fija régimen legal de los terrenos forestales o preferentemente aptos para la forestación, y establece normas de fomento sobre la materia del Ministerio de Agricultura). Ambos se han orientado a evitar el deterioro de suelos empobrecidos o degradados por el mal uso consuetudinario, principalmente en la zona central de Chile y la cordillera de la Costa. El SIRSD, a través del Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) y el SAG, ha intervenido, en el periodo 1999-2008, 152.991 hectáreas de suelos en mal estado, en tanto que las plantaciones han alcanzado la cantidad de 1.790.921 hectáreas hasta el año 2005. Sin desconocer el valor económico que las plantaciones han otorgado a suelos antaño improductivos, aún no se ha comprobado en qué medida la reforestación con pino y eucaliptos ha disminuido efectivamente la erosión. Por otra parte, las plantaciones se han realizado en forma significativa sustituyendo bosque nativo, con el consiguiente perjuicio ambiental (U. de Chile 2010, p. 277)

En tanto, los instrumentos de planificación territorial se han renovado en busca de eficacia: planes reguladores comunales, planes de desarrollo urbano regional y otros se extendieron a todas las regiones del país y al 88% de las comunas. Principal importancia en la administración de los suelos tiene el Plan Regulador Metropolitano de Santiago, que involucra el destino de cientos de kilómetros cuadrados de suelos agrícolas periféricos, pertenecientes a 32 comunas de la ciudad, amenazados por la urbanización acelerada. En 2008 se presentó una propuesta de actualización de este plan, que ya tiene 17 años de vigencia. Dicha propuesta fue aprobada en marzo de 2011 por el Consejo Regional Metropolitano, sin embargo, en septiembre de 2011, la Contraloría General de la República rechazó la modificación, entregando para ello, razones de forma y fondo.⁷

⁷] Hasta la fecha de finalización de este documento, la propuesta aún no ha sido votada nuevamente en el Consejo Regional Municipal.

Cuadro 3 Institucionalidad con competencia en el suelo

SERVICIO	COMPETENCIA	MARCO JURÍDICO / INSTRUMENTOS
Ministerio del Medio Ambiente	Velar para que el uso del suelo se haga en forma racional, evitando su pérdida y degradación	Ley 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, modificada en 2010 por la Ley 20.417.
Ministerio de Vivienda	Planificación urbana, uso del suelo urbano.	Ley 16.391, crea el Ministerio de la Vivienda y Urbanismo.
Ministerio de Agricultura	Fomentar, orientar y coordinar la actividad silvoagropecuaria del país.	Decreto Ley N°294 de 1960 establece funciones y estructura del Ministerio de Agricultura.
Servicio Agrícola Ganadero	Proteger y mejorar la condición de los recursos productivos silvoagropecuarios.	Ley 18.755, establece normas sobre el Servicio Agrícola y Ganadero. Ley N° 20.412, establece un sistema de incentivos para la sustentabilidad agroambiental de los suelos agropecuarios.
Instituto de Desarrollo Agropecuario	Promover condiciones, generar capacidades y apoyar el desarrollo productivo sustentable de la agricultura familiar campesina.	Ley N° 18.910 Ley Orgánica del Instituto de Desarrollo Agropecuario.
Oficina de Estudios y Políticas Agrarias	Apoya la labor del Ministerio de Agricultura en políticas agrarias, relaciones económicas internacionales e información agraria.	Ley N°19.147, que crea este servicio.
Instituto de Investigaciones Agropecuarias	Generar, adaptar y transferir tecnologías para lograr que el sector agropecuario contribuya a la seguridad alimentaria de Chile.	DS N° 1.093 de 1964 del Ministerio de Justicia y el Decreto N° 97 de 1999 del Ministerio de Justicia.
Corporación Nacional Forestal	Conservar el patrimonio silvestre y uso sostenible de los ecosistemas forestales.	Decreto N° 82, 2011, Ministerio de Agricultura, aprueba reglamento de suelos, aguas y humedales. Decreto Ley N° 701, 1974, Ministerio de Agricultura. Fija régimen legal de los terrenos forestales o preferentemente aptos para la forestación, y establece normas de fomento sobre la materia. Ley 20.283 sobre recuperación de bosque nativo y fomento forestal.
Comisión Nacional de Riego	Asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país.	Ley 18.450 sobre fomento de la inversión privada en obras de riego y drenaje.
Fundación para la Innovación Agraria (FIA)	Agencia de fomento a la innovación del Ministerio de Agricultura.	Decreto 1.609 de 1984, del Ministerio de Justicia.

Fuente: Elaboración propia.

Tal como ha sido indicado, el recurso suelo sustenta un gran número de funciones esenciales para la vida, tanto ambientales como económicas, productivas y sociales. Paulatinamente, se ha ido reconociendo la importancia de su adecuada gestión y utilización, particularmente porque se trata de un recurso natural frágil y no renovable, el cual es difícil y costoso de recuperar una vez que sus propiedades han sido alteradas.

Debido a lo anterior, **la autoridad ambiental ha incorporado como tarea central a su gestión, avanzar en la evaluación, desarrollo y fortalecimiento de los instrumentos, elaboración de los respectivos planes de trabajo y la educación ciudadana en materia de suelo.**

Tras la modificación de la institucionalidad ambiental, es deber del Ministerio de Medio Ambiente *“Proponer políticas y formular normas, planes y programas en materia de residuos y **suelos contaminados...**”*. De esta forma, este Ministerio adquirió nuevas competencias legales en materias y actividades que vienen a especificar el contenido de la garantía constitucional de vivir en un ambiente libre de contaminación.

Programa de Acción Nacional de Combate a la Desertificación

La catástrofe humanitaria provocada por la desertificación y una grave sequía en el África Sub-Sahariana en los años 70 movilizó a toda la comunidad internacional, la que finalmente acordó enfrentar este flagelo mundial de manera conjunta. Así surge la Convención de Naciones Unidas de Combate a la Desertificación (UNCCD).

Chile es parte integrante de esta Convención desde 1998 y fue el país N° 114 en ratificarla. La Corporación Nacional Forestal (CONAF) es el órgano de coordinación nacional de la Convención UNCCD en Chile. Desde 1997, se implementa un Programa de Acción Nacional de Combate a la Desertificación (PANCCD-Chile), con el fin de responder a sus compromisos ante la Convención UNCCD sobre desertificación.

El Combate a la desertificación en Chile se desarrolla fundamentalmente mediante la aplicación de los instrumentos de fomento del Ministerio de Agricultura (MINAGRI) en materia de:

- ▶ Forestación y recuperación de áreas desertificadas y suelos degradados en tierras de vocación forestal, D. L. N° 701 administrado por CONAF;
- ▶ Manejo y recuperación de bosque nativo y formaciones xerofíticas, Ley N° 20.283 administrada por CONAF;
- ▶ Fomento al riego campesino, Ley N° 18.450 administrada por la Comisión Nacional de Riego, y recuperación de suelos degradados en tierras de uso agropecuario, Ley 20.412 administrada por INDAP y SAG.

El programa establece la conformación de un Comité Consultivo Nacional integrado por los servicios del Ministerio de Agricultura, que administran los instrumentos de fomento contemplados en el PANCCD-Chile, además de un comité consultivo nacional ampliado que integra a representantes de la sociedad civil, universidades, parlamentarios, empresa privada y agencias de la cooperación internacional.

Actualmente, se desarrollan dos proyectos especiales que permitirán fortalecer la aplicación de los instrumentos de fomento del MINAGRI para el combate a la desertificación.

El programa-país de combate a la desertificación, cuenta con un financiamiento por US\$ 5,63 millones, que fue aprobado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) en el año 2010. Las áreas piloto para el establecimiento del sistema nacional son las regiones de Arica y Parinacota, Coquimbo, del Libertador General Bernardo O'Higgins, Araucanía y Magallanes. Este proyecto tiene como meta intervenir 100.000 hectáreas afectadas por el avance del desierto, la desertificación, la degradación de la tierra y la sequía, así como beneficiar a unas 2.000 familias.

El Programa Comunitario de Combate a la Desertificación, coordinado y administrado por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y financiado por la Unión Europea (EU) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), se implementó desde 2007 al 2011. El programa tiene tres ejes principales de acción: recuperación de ecosistemas degradados; instalación de sistemas eficientes de energías alternativas al uso de la leña y fortalecimiento de los sistemas productivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CASANOVA, M.; VERA W.; SALAZAR O. y WALTER LUZIO LEIGHTON, 2004. *Edafología, Guía de clases prácticas*. Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ingeniería y Suelos.
- CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (CIREN), 2010. *Informe Final, Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile*. Santiago: Ciren.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE REGIÓN METROPOLITANA, 2002. *SUELOS REGIÓN METROPOLITANA. SANTIAGO. CONAMA RM.*
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE Y MINISTERIO DE AGRICULTURA (CONAMA- MINAGRI), 2000. *Criterios para elaboración de una Ley Marco para la Conservación de Suelos*. Santiago: Conama-Minagri.
- CONVENCIÓN INTERNACIONAL DE LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN Y LA SEQUÍA, 1994.
- DE GREGORY, I; FUENTES, E.; ROJAS, M.; PINOCHET, H. y POTIN-GAUTIER, M., 2003. Monitoring of copper, arsenic and antimony levels in agricultural soils impacted and non-impacted by mining activities, from three regions in Chile. *Journal of Environmental Monitoring (Print)*, Vol. 5.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA), 1990. *Informe Final. Fuentes de contaminación con residuos de plaguicidas organoclorados y metales pesados en sectores agrícolas regiones IV a XI*. Santiago: INE.
- PERALTA, J. y PERALTA, M., 1990. *Algunos factores que condicionan la erosión en la zona costera de la IV Región de Chile*. Santiago: Ciencias Forestales, Vol. 6 N° 1, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad de Chile.
- PERALTA, M., 1994. Conservación y degradación de los suelos en Chile. En: *Perfil ambiental de Chile*. Santiago: Conama.
- PÉREZ, C y J. GONZÁLEZ, 2001. *Diagnóstico sobre el estado de la degradación del recurso suelo en el país*. Chillán: Centro regional de Investigación Quilamapu. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- UNIVERSIDAD DE CHILE, 2010. *Informe País. Estado del medio ambiente en Chile 2008*. Santiago: U. Chile.