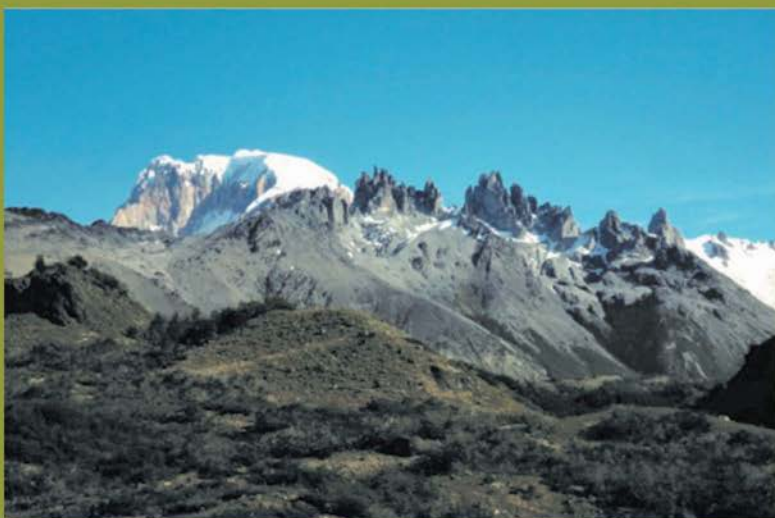




INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS DE LA PATAGONIA OCCIDENTAL (AYSÉN)



EDITORES:

CHRISTIAN HEPP K., PhD

NEAL B. STOLPE, PhD

COYHAIQUE, CHILE, 2014

BOLETÍN INIA N° 298



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

**CARACTERIZACIÓN Y
PROPIEDADES DE LOS
SUELOS DE LA PATAGONIA
OCCIDENTAL
(AYSÉN)**

EDITORES:

CHRISTIAN HEPP K., PhD

NEAL B. STOLPE, PhD

COYHAIQUE, CHILE, 2014

ISSN 0717-4829

BOLETÍN INIA N° 298

ÍNDICE

Capítulo	Título	Autor(es)	Página
1	Antecedentes generales y metodología	Christian Hepp	7
2	Caracterización agroclimática de la Región de Aysén	Christian Hepp	15
3	Ecorregiones de Aysén	Fernán Silva	35
4	Clasificación de suelos de valles productivos de la Región de Aysén	Neal Stolpe	53
5	Fertilidad química de los suelos de la Región de Aysén	Christian Hepp	77
6	Propiedades físicas de los suelos de la Región de Aysén	Marco Sandoval	103
7	Aspectos de la materia orgánica en suelos volcánicos del Valle Simpson y su impacto en la transformación del azufre y del nitrógeno	Carolin Córdova Erick Zagal Christian Hepp Pier Barattini	113
8	Distribución y caracterización productiva de los suelos de interés agropecuario de la Región de Aysén.	Christian Hepp	135

Equipo de trabajo:

Dr. Christian Hepp	INIA Tamel Aike (Director Proyecto, fertilidad y uso de suelos)
Dr. Neal B. Stolpe	U. de Concepción (Coordinador UdeC, taxonomía suelos)
Sr. Andrés Gómez	SAG Aysén (Coordinador SAG, SIG)
Sr. Roberto Stuardo	INIA Tamel Aike (Cartografía SIG)
Dr. Marco Sandoval	U. de Concepción (Física de suelos)
Dra. Carolin Córdova	U. de Concepción (Dinámica nutrientes, análisis químico)
Dr. Erick Zagal	U. de Concepción (Dinámica materia orgánica)
Sr. Fernán Silva	SAG Aysén (Ecorregiones)
Sr. Iván Rodríguez	SAG Aysén (SIG)
Sr. Patricio Almonacid	INIA Aysén (técnico terreno)
Sra. María Paz Martínez	INIA Tamel Aike (gestión proyecto)
Sr. Pier Barattini	INIA Tamel Aike (Dinámica nutrientes, analítica)
Sra. Adriana Carvajal	INIA Tamel Aike (Análisis químico)
Sr. Rodrigo Muñoz	INIA Tamel Aike (Manejo de datos)
Srta. Viola Saldivia	INIA Tamel Aike (Análisis laboratorio)
Sra. Mirna Medina	INIA Tamel Aike (Apoyo laboratorio)
Sra. Fabiola Carrasco	INIA Tamel Aike (gestión financiera)
Sra. Viviana Soto	INIA Tamel Aike (Contabilidad)
Sr. Marco Ramírez	SAG Aysén (apoyo terreno zona sur)
Sr. Darío Juárez	Indap Aysén

Editores: Dr. Christian Hepp, Ing. Agr. MPhil PhD
Dr. N.B. Stolpe, Ing. Agr. PhD.

Boletín INIA N° 298.

© 2014. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA-Tamel Aike, Las Lengas N°1450, Coyhaique, Chile.

Este libro fue editado en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro INIA Tamel Aike, Ministerio de Agricultura, como parte de las actividades comprometidas en el proyecto Innova-Chile (Corfo) Taxonomía, caracterización físico-química y mapeo de suelos de potencial agropecuario de los valles productivos de Aysén y aplicaciones en el medio. (Código 11BPC-9975).

Cita: Hepp, C. y Stolpe, N.B. 2014. Caracterización y propiedades de los suelos de la Patagonia occidental (Aysén). Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro de Investigación INIA Tamel Aike, Coyhaique, Aysén-Patagonia, Chile. 160 pp.

Se permite la reproducción total o parcial citando la fuente y el autor.

Cantidad de ejemplares: 300

Impresión: Imprenta América (Temuco)

1. ANTECEDENTES GENERALES Y METODOLOGÍA

Christian Hepp K.

Centro Regional de Investigación INIA Tamel Aike
Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Coyhaique, Región de Aysén, Patagonia Occidental

INTRODUCCIÓN

El suelo es el recurso básico para el sustento de gran parte de la vida en el planeta y es fundamental en la generación de bienes y servicios para el ser humano. La producción de alimentos es uno de los fines productivos más importantes de los suelos, por lo que es necesario conocerlos y caracterizarlos. Los suelos se estudian y definen con una gran variedad de objetivos, en particular aquellos relacionados con su capacidad para sustentar la producción vegetal y, en algunos casos, la producción animal.

La región de Aysén forma parte de la Patagonia Occidental y posee condiciones particulares y variadas de topografía, clima y material generador, que, unidos a una historia reciente de colonización, han desencadenado procesos diversos de formación y desarrollo de suelos. El presente trabajo pretende describir los suelos de Aysén, desde un punto de vista taxonómico, pero también conocer en mayor detalle sus propiedades físicas, químicas y biológicas., factores que inciden en su uso con diversos fines. A lo anterior se agrega el conocimiento del uso actual de los suelos y estimación de su potencialidad. El trabajo se ha concentrado en la definición de aquellos valles que presentan interés productivo desde un punto de vista agropecuario y ha implicado la construcción de cartografía organizada en un sistema de información geográfico (SIG).

Este trabajo fue ejecutado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias a través de su Centro de Investigación INIA Tamel Aike y la Universidad de Concepción, Departamento de Suelos, Facultad de Agronomía, además del apoyo del Servicio Agrícola y Ganadero, particularmente su laboratorio de SIG de la región de Aysén.

EL SUELO Y LA FERTILIDAD

El suelo es un ente dinámico con componentes bióticos y abióticos que conforman un ecosistema en constante modificación. A pesar de que en muchas ocasiones el suelo se considera un recurso natural renovable, ello ocurre muy lentamente, ya que la pedogénesis o proceso de formación del suelo, involucra mucho tiempo, sobre todo si se mide en períodos de vida humana.

El suelo es la base de los sistemas productivos y en su formación participan diversos factores que condicionan las vías de desarrollo de éste. Hay factores abióticos, como aquellos inherentes al material generador o parental, el clima, el agua, y la topografía. La vegetación, los organismos del suelo e incluso los factores antrópicos, están entre los factores bióticos. El tiempo es el factor que gobierna los anteriores y definirá el estado de desarrollo del suelo. Éstos y otros factores actúan con distinta ponderación en cada sitio específico.

La capacidad de un suelo para sustentar crecimiento vegetal está en gran medida definida por la fertilidad de éste, que se relaciona con las condiciones que ofrece el suelo para el desarrollo adecuado de las plantas en el tiempo. De esta forma, la fertilidad del suelo se define habitualmente con tres componentes: química, física y biológica. El equilibrio de estos tres factores hará que un suelo tenga fertilidad adecuada para mantener sistemas productivos vegetales y/o animales sustentables en el tiempo.

OBJETIVOS

El objetivo general de esta publicación es la caracterización, clasificación y mapeo de los suelos agropecuarios de los valles de interés agropecuario (valles productivos) de la región de Aysén, junto con definir los sistemas productivos actuales y potenciales.

En términos específicos involucra clasificar los suelos agropecuarios en base a metodología de taxonomía (USDA Soil Survey), hasta el nivel de familia, como también el estudio de las variables del suelo desde un punto de vista físico y químico. Los resultados se organizan en un sistema de información geográfica, acoplable a otras bases de datos disponibles.

Por otra parte se busca establecer el uso actual y potencial de los sistemas agropecuarios por cada valle productivo y definir algún escenario de desarrollo. Junto a ello, se estudian aspectos puntuales críticos de los suelos, como son la dinámica de nutrientes y su relación con la materia orgánica (principalmente azufre, por su relevancia como nutriente en la región).

Un objetivo específico de gran importancia es la creación de un instrumento de uso práctico a partir de la información generada, dirigido a aportar a un manejo sustentable del recurso suelo. Ello se logra con una plataforma web de acceso público y gratuito a toda la información contenida en estas publicaciones. Esta plataforma permite su actualización permanente, como apoyo a profesionales y técnicos del área productiva, planificación, focalización de recursos públicos, entre otros.

ESTUDIOS PREVIOS

Los suelos de la región de Aysén han sido objeto de estudios previos, los que han tenido enfoques y objetivos diversos. En el año 1967 se realizó un estudio de reconocimiento general (IREN, Corfo, 1967), con un área restringida de prospección. Algunos trabajos para evaluar deficiencias nutricionales en suelos de la provincia de Aysén fueron realizados en el INIA por Schenkel y colaboradores (1975). Un estudio de gran relevancia e impacto sobre las perspectivas de desarrollo de los recursos de la región de Aysén fue abordado por IREN en el año 1979. Este trabajo fue referente como consulta y cita durante dos o tres décadas. En él se utilizaron fotografías aéreas de vuelos CHILAY y USAF (escalas 1:30.000 a 1:70.000) que luego se vaciaron en cartas IGM 1:250.000. También se utilizaron las primeras imágenes Landsat de 1977 (1:500.000). En la época de realización del estudio la conectividad interna de Aysén era muy limitada.

En 2005, el CIREN realizó un estudio taxonómico de suelos, el que permitió definir 20 series de suelos para la región de Aysén, en base a 20 calicatas distribuidas desde La Junta a Cochrane.

Más recientemente, en 2013, el SAG y el centro EULA de la Universidad de Concepción, desarrollan el programa de transferencia en modelos de gestión territorial en cuencas productivas, que define características agroecológicas a nivel predial en la zona norte de la región de Aysén. En 2012, la Corporación Nacional Forestal publica el Catastro de Bosque Nativo, el cual define los tipos vegetacionales a nivel regional. Junto a ello, el departamento de recursos naturales del SAG realiza una Clasificación de Ecorregiones de Aysén, que contiene los tipos climáticos presentes en Aysén y su relación con la vegetación predominante en las diversas zonas.

El Centro de Investigación INIA Tamel Aike, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, igualmente desarrolla durante el período 1980-2014 diversos proyectos que permiten ir contando con antecedentes sobre los suelos regionales (especialmente aspectos de deficiencias nutricionales) y sus potenciales productivos. En este sentido, el trabajo del laboratorio de suelos y nutrición del INIA Tamel Aike ha sido de gran valor.

Como puede apreciarse, existe información previa de valor, que es la base para el trabajo realizado. Parte de ella se ha incorporado en las bases de datos que permiten dar mayor valor e interés a la plataforma del sistema de información geográfico. Ello permite reunir información procedente de diferentes fuentes e instituciones en una misma plataforma, lo que facilita enormemente el acceso.

DEFINICIÓN DE VALLES PRODUCTIVOS DE INTERÉS AGROPECUARIO

Para trabajar con la gran diversidad de condiciones agroclimáticas, topográficas y edáficas, se decidió trabajar a nivel de valles de interés agropecuario, los que pasan a constituir la unidad de ordenamiento de la información. Lo anterior implica delimitar grandes superficies y el procedimiento para ello fue el siguiente:

- Delimitación de grandes áreas o valles productivos en base a experiencia del equipo (ej. Alto Valle Simpson, Cerro Galera, Balmaceda-Vista Hermosa, Bajada Ibáñez, etc.)
- Definición de parámetros de delimitación (ej. altitud límite).
- Uso de capas de información preexistente: curvas de nivel, ecorregiones (SAG), vegetación (catastro bosque nativo, Conaf), Capacidad de uso Ciren, etc.)
- Generación o ajuste de capacidad de uso de los suelos – redefinición a escala 1:20.000
- Inclusión de información taxonómica de suelos en cada valle productivo.
- Determinación de polígonos de combinaciones de capacidad de uso, ecorregiones y vegetación.
- Confección de mapas por valles productivos.
- Confección de tablas de datos por valle productivo.
- Acopio de información existente para cargar en SIG: fertilidad, agroclima, etc.

CAMPAÑAS DE TERRENO

Se realizaron cuatro campañas de terreno para la recolección de la información, en las cuales se definieron 109 puntos de muestreo para la descripción de sitios y suelos además de la obtención de muestras para análisis físico-químicos. Estas campañas abarcaron desde el límite norte de la región de Aysén hasta Villa O´Higgins, con todas las localidades ubicadas en los intermedios, lo que implicó un recorrido de más de 4.500 km en total. A lo anterior se agregan períodos de chequeo de información para cotejar datos de cartografía.

En los puntos de muestreo se confeccionaron calicatas (figura 1.1), donde se procedió a describir taxonómicamente los perfiles de suelo y a tomar las muestras asociadas a cada horizonte. Ello se describe con más detalle en el capítulo correspondiente. La taxonomía se debe apoyar también en antecedentes de laboratorio, por lo que la analítica finalmente permite definir la clasificación de cada suelo.

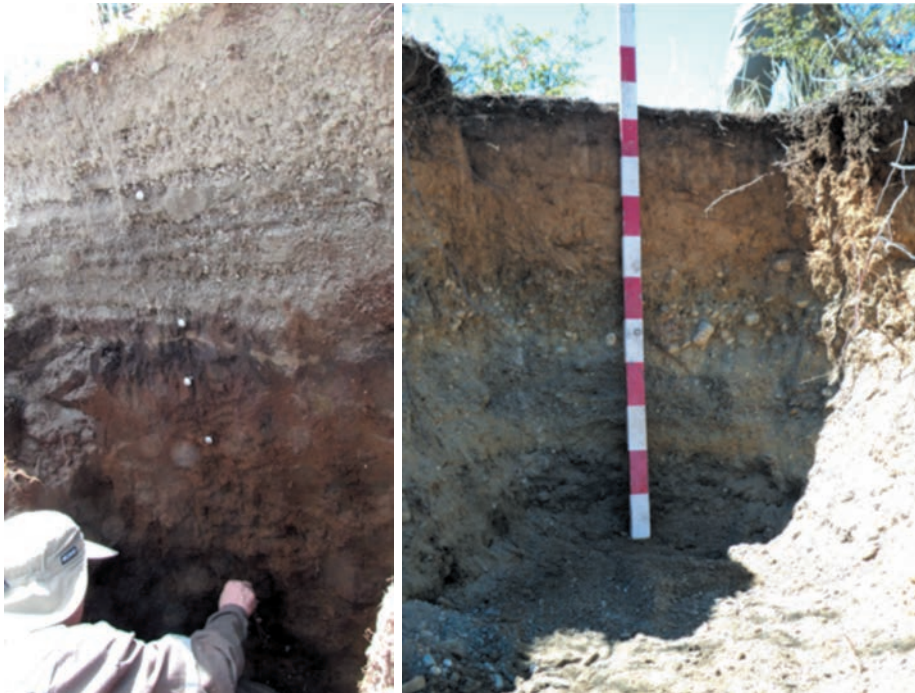


Figura 1.1. Descripción taxonómica de un perfil de suelo.

Las figura 1.2 y 1.3 muestran los puntos de muestreo en la zona norte y sur de la región de Aysén, respectivamente.



Proyecto Financiado por:

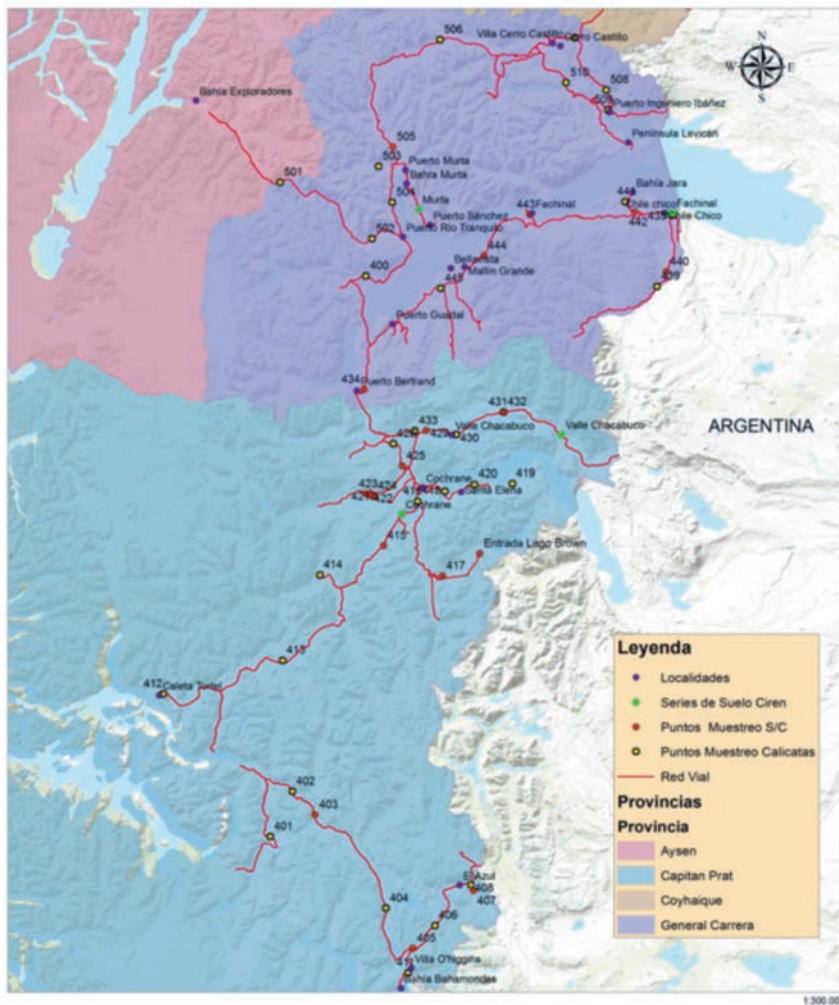


Instituciones Participantes:



Figura 1.2. Puntos de muestreo realizados en la zona norte de la región de Aysén (2012-2014).

MUESTREO SUELOS REGION DE AYSÉN ZONA SUR



Proyecto Financiado por:



Instituciones Participantes:



Figura 1.3. Puntos de muestreo realizados en la zona norte de la región de Aysén (2012-2014).

PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para cada valle de interés agropecuario se generó información, la que fue organizada bajo el concepto de sistema de información geográfica, de modo de hacerla disponible a través de la plataforma web. La información se asoció a valles y a puntos específicos dentro de cada valle, en los casos en que ésta estuviera georreferenciada.

Los análisis realizados en laboratorios y sus metodologías son descritos en los capítulos respectivos. El trabajo cartográfico y la metodología seguida para la construcción de la plataforma de información se detalla también más adelante.

Además de la plataforma web, se generan tres publicaciones, las que se titulan:

- a. Caracterización y propiedades de los suelos de la Patagonia occidental (Aysén)
- b. Caracterización taxonómica de los suelos de los valles de interés agropecuario de la región de Aysén (Patagonia occidental-Chile).
- c. Caracterización productiva de los valles de interés agropecuario de la región de Aysén (Patagonia occidental-Chile).

2. CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA DE LA REGIÓN DE AYSÉN

Christian Hepp K.

Centro Regional de Investigación INIA Tamel Aike
Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Coyhaique, Región de Aysén, Patagonia Occidental

INTRODUCCIÓN

La región de Aysén pertenece a la gran macro zona del continente sudamericano denominada Patagonia. Este gran territorio abarca gran parte del cono sur de Sudamérica y es compartida por Argentina y Chile. En Argentina, la dividen en Patagonia Norte y Patagonia Sur. La primera incluye las provincias de Neuquén y Río Negro, mientras que la segunda considera Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego. Hacia el norte, el límite de la Patagonia se ubica en el curso del río Colorado. La Patagonia argentina o Patagonia Oriental, abarca más de 80 millones de hectáreas y está dominada por climas continentales, en general de baja pluviometría, que condicionan grandes extensiones de pampas en ecosistemas arbustivos y esteparios, muchos de ellos de condiciones semiáridas.

En Chile, la Patagonia considera a las dos regiones más australes del país, Aysén y Magallanes. En su conjunto suman más de 24 millones de hectáreas, es decir casi un tercio de la superficie nacional. En algunos casos se incluye la provincia de Palena, que representa la zona también conocida como Chiloé Continental, ya que comparte ciertas características y condiciones similares a zonas de la región vecina de Aysén. Aysén, por su parte tiene una superficie total de 10.849.000 ha, lo que representa el 14,2% de la superficie de Chile continental.

A diferencia de la Patagonia Argentina, en Chile dominan climas templados húmedos y fríos, con pluviometría muy superior a la de la zona oriental, especialmente en la vertiente

occidental de la Cordillera de los Andes, como se describirá más adelante. En Magallanes y algunas zonas orientales de Aysén se encuentran igualmente zonas más secas, donde se encuentran estepas con pastizales de coirón, una comunidad de gramíneas que caracteriza a muchos ambientes patagónicos.

A continuación se describirán las principales zonas agroclimáticas que caracterizan a la región de Aysén, la que abarca una superficie de más de 10,8 millones de hectáreas y se ubica en la zona nor-occidental de este gran territorio continental.

ZONAS AGROCLIMÁTICAS DE AYSÉN

Dada su dispersión geográfica y tamaño, junto a una particular orografía, Aysén tiene diferentes zonas agroclimáticas que definen biomas característicos y contrastantes, los que abarcan desde las grandes masas forestales de bosque siempreverde en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes, el bosque caducifolio de lenga en la vertiente oriental, hasta los pastizales de coirón en las llanuras orientales. Al margen de este último bioma, gran parte de la región de Aysén se encontraba cubierta de masas forestales, no existiendo en estos sectores praderas o grandes masas de herbáceas. La colonización de praderas recién se inició en el siglo XX, cuando se provocan grandes incendios que afectaron a cerca de 3 millones de hectáreas. De esta forma se habilitaron grandes extensiones en los valles para el desarrollo posterior de la ganadería. Junto a ello, se provocaron intensos procesos de erosión, que modificaron sustancialmente el paisaje de muchas zonas.

En la región de Aysén existe una red hidrográfica que surca la extensa maraña de valles de mayor o menor amplitud, los que tienden a abrirse hacia los sectores orientales. Existen en Aysén cinco grandes cuencas hidrográficas denominadas en base a sus ríos principales que son el río Palena, el río Cisnes, río Aysén, río Baker y río Pascua.

En Aysén se pueden distinguir cuatro grandes zonas agroclimáticas, además de una zona de microclima, la que está limitada a pequeños sectores ribereños de los grandes lagos. Éstas son:

- a. ZONA LITORAL O INSULAR
- b. ZONA HÚMEDA
- c. ZONA INTEMEDIA
- d. ZONA ESTEPARIA
- e. ZONA DE MICROCLIMA

Zona litoral o insular

La zona litoral o insular de Aysén se asocia a la extensa red de islas y archipiélagos situados en la zona de canales y fiordos patagónicos. Corresponde a la zona más occidental de la región, con una geografía muy desmembrada y de clima riguroso (figura 2.1).



Figura 2.1 Zona litoral o insular de Aysén. Zona de canales marinos y fiordos.

El clima predominante es el templado húmedo litoral (Cfb'ni) con precipitaciones muy intensas y que superan los 3.000 mm anuales, llegando en algunos sectores a cerca de 7.000 mm/año. Las islas tienen suelos delgados, de escaso desarrollo y ricos en materia orgánica, sobre material rocoso, no aptas para el desarrollo productivo agropecuario o forestal. En general, sus suelos se clasifican como categoría de capacidad de uso VIII, es decir suelos de protección y vida silvestre.

Las islas están cubiertas de bosque siempreverde, dominado habitualmente por coigüe de Magallanes y presencia de mañío, canelo, arrayán, tepú, chilco y otras especies. En muchos sectores el crecimiento de la vegetación es achaparrado e irregular debido a suelos limitantes.

Esta zona prácticamente no tiene población establecida, salvo en algunas islas, donde la actividad principal es la pesca y acuicultura (islas Guaitecas, islas Huichas, isla Toto, Puerto Gaviota, Seno Gala, entre otras).

Zona húmeda

La zona húmeda considera la zona continental de la vertiente occidental de la cordillera de Los Andes. A diferencia de las regiones de más al norte, la cordillera de Los Andes no marca el límite con la república Argentina, sino que se sitúa cercana a la costa. El clima predominante de esta zona es el templado húmedo costero (Cfbn), que se caracteriza por elevadas precipitaciones (un ejemplo es Puerto Aysén, con un promedio anual de precipitaciones de 2.640 mm (1960-2013). Las lluvias en general aumentan en invierno, pero durante todos los meses del año existe abundante precipitación, lo que redundaría en la no existencia habitual de meses secos. La temperatura media anual de la misma localidad es de 9°C, mientras que la máxima media llega a 12,8°C y la mínima media anual a los 6°C. El mes más cálido (enero) presenta una temperatura media de 13,6°C, una máxima media de 17,9°C, y una mínima media de 6°C. El mes más frío (julio) tiene una temperatura media de 3,8°C, una máxima media de 6,8°C, y una mínima media de 1,6°C. La amplitud térmica media entre el mes más cálido y el más frío es de 9,8°C (en base a datos de DMC, 2014).

La vegetación predominante es el bosque siempreverde de coigüe, tepa y mañío (figura 2.2), con otras especies acompañantes, especialmente de sotobosque, como el canelo, sauco, notro, arrayán, luma, y otros menores, como la nalca, chilco, diversas lianas y trepadoras epífitas, además de una variedad de helechos. También es muy corriente la presencia de quila y colihue, especies que tienen también un uso forrajero de temporada.



Figura 2.2. Bosque siempreverde de la Zona húmeda de Aysén. Gran parte de la superficie de valles estaba cubierta por este bosque.

La geomorfología muestra efectos glaciales y fluvio-glaciales, con efectos aluviales más recientes. Esta zona cuenta con suelos generalmente derivados de cenizas volcánicas, dada la cercanía de una cadena de volcanes, como Melimoyu, Puyuhuapi, Maca, Cay y Hudson. Se trata de suelos de diferente grado de desarrollo, dependiendo de los sitios específicos y su ubicación en los valles. Es posible encontrar desde entisols, inceptisols, histosols hasta andisols. Estos últimos son muy habituales y sustentan gran parte de la actividad agropecuaria que se desarrolla en la Zona Húmeda. Son suelos habitualmente ácidos, muy orgánicos, con baja concentración de bases de intercambio, deficiencia de fósforo y potasio, y alta saturación de aluminio. La actividad agropecuaria principal es la ganadería extensiva de bovinos de carne, la que se desarrolla en múltiples valles, generalmente angostos, donde se han habilitado suelos antiguamente cubiertos de bosque. Muchos suelos se encuentran cubiertos parcial o totalmente con matorrales y renovales de bosque nativo, por lo que es habitual el manejo silvopastoral rústico en los predios ganaderos (figura 2.3).

En las habilitaciones rústicas de suelos para uso ganadero se encuentran especies herbáceas introducidas y que actualmente se encuentran naturalizadas. Esta pradera naturalizada se encuentra en la mayoría de los casos en suelos de baja fertilidad y sin corrección de la acidez. Las especies más comunes son la chépica, el pasto miel, el pasto oloroso, entre las gramíneas. En leguminosas, se presenta la alfalfa chilota y el trébol blanco, este último muy limitado por la acidez. Se complementa lo anterior con especies de hoja ancha, como el siete venas, el pasto del chancho, y otras especies de menor importancia.



Figura 2.3 Sectores de valles de la zona húmeda con habilitación rústica de suelos para uso ganadero.

En sectores de mayor potencial, con suelos de clases de capacidad de uso III o IV, los que son muy escasos, se han habilitado suelos con praderas artificiales (ej. ballica con trébol blanco), con corrección de la acidez vía enmiendas calcáreas, además de fertilización especialmente de fósforo, potasio y nitrógeno. La productividad de estas praderas es bastante elevada pudiendo superar las 10 t de materia seca por hectárea (figura 2.4). Estas praderas se destinan especialmente a conservación de forrajes, ya que el crecimiento invernal de praderas es escaso.



Figura 2.4. Mejoramiento de praderas con establecimiento de especies forrajeras, enmiendas calcáreas y fertilización.

Localidades representativas de la Zona húmeda, además de Puerto Aysén, son Puerto Cisnes, Puyuhuapi, La Junta, entre otras. Existen zonas transicionales entre esta zona y la Zona intermedia, (ej. Mañihuales, Baguales, etc.), donde se observa un bosque mixto con especies caducifolias y con condiciones intermedias de precipitación y temperatura

Zona Intermedia

La zona intermedia de Aysén se ubica en la vertiente oriental de la cordillera de Los Andes, ocupando las laderas montañosas y valles que se desprenden hacia el este de la región. Esta zona presenta varios climas, dependiendo principalmente de la altitud en que se encuentra cada zona. En las localidades más altas predomina el clima andino boreal (Cfc), mientras que en zonas más bajas (habitualmente bajo 500 m sobre el nivel

del mar) se encuentra el clima templado húmedo intermedio. La localidad de Coyhaique representa a este último clima, con una precipitación promedio anual de 1.149 mm (1961-2013). La temperatura media anual es de 8,1°C, la máxima media anual es de 13°C, mientras que la temperatura mínima media anual es de 4,4°C. El mes más cálido (enero) presenta una temperatura media de 13,7°C, una máxima media de 19,5°C, y una mínima media de 8,8°C. El mes más frío (julio) tiene una temperatura media de 2,0°C, una máxima media de 5,5°C, y una mínima media de -0,4°C. La amplitud térmica media entre el mes más cálido y el más frío es de 11,7°C (en base a datos de DMC, 2014).

La vegetación natural predominante de la zona intermedia de Aysén es el bosque caducifolio de *Nothofagus*, especialmente lenga, pero también de ñire en ciertas situaciones (sectores más húmedos y en transición hacia zonas esteparias). También se encuentra abundantemente vegetación arbustiva, como el calafate, el michay y la zarzaparrilla. Esta fue la zona más afectada por los grandes incendios forestales durante el período de colonización, particularmente la primera mitad del siglo XX.

Producto de la remoción del bosque de lenga por el fuego, en muchos sectores y valles se sembraron especies herbáceas, para generar praderas que puedan sustentar sistemas ganaderos ovinos y bovinos. De esta forma nace la pradera naturalizada de Aysén, la cual tiene composiciones variables, según la fertilidad del suelo sobre el que se encuentra. En condiciones de baja fertilidad, que es la ocurrencia común en muchos valles y laderas, esta pradera es de muy baja producción forrajera, ya que está dominada por especies de escaso crecimiento, como pasto del chancho, chinilla, sietevenas, diente de león, ce-rastio, pimpinela, y cantidades menores de poa, pasto ovillo y trébol blanco, entre otras. En estas condiciones las praderas rinden entre 0,5-2 t MS/ha. Al corregirse la fertilidad, especialmente las limitaciones de azufre y fósforo, la pradera naturalizada responde con fuertes cambios en su composición florística (figura 2.5), aumentando muy fuertemente el trébol blanco (hasta 60-70%), la poa y el pasto ovillo. También es frecuente e importante el diente de león, que domina muchas praderas, incluso fertilizadas, en el mes de noviembre. Las especies malezas de hoja ancha pasan a tener un rol secundario. La pradera naturalizada en estas condiciones puede rendir entre 5-7 t MS/ha, con un alto valor nutritivo.



Figura 2.5. Cambios en composición florística de la pradera naturalizada de la zona intermedia: pradera degradada sin fertilizar (derecha) y pradera naturalizada fertilizada con corrección de azufre y fósforo (izquierda).

La figura 2.6 muestra el proceso de cambio botánico en la pradera naturalizada de la zona intermedia de Aysén. Este es un proceso dinámico, en que se requieren varios años para observar los cambios. Es importante señalar que el proceso ocurre en ambos sentidos, es decir, es posible mejorar una pradera degradada, como también degradar una pradera mejorada.

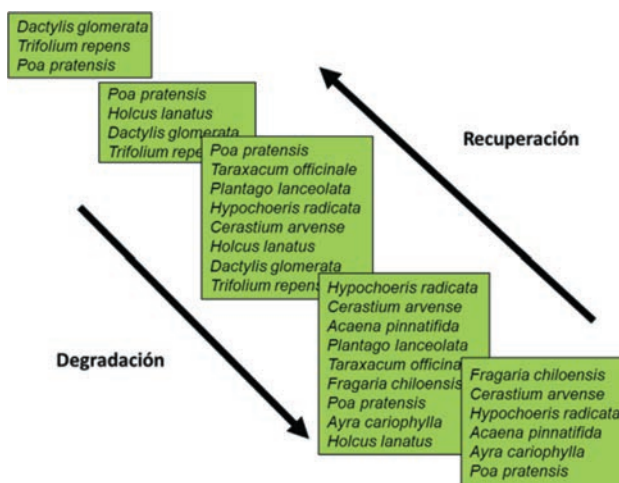


Figura 2.6. Proceso dinámico de cambio en la composición botánica de la pradera naturalizada al modificar la fertilidad del suelo, especialmente en el status de azufre y fósforo disponibles.

Producto de los incendios forestales, los suelos de esta zona de Aysén estuvieron durante décadas cubiertos de palizadas muertas (troncos quemados y caídos que permanecen en el terreno dado su lenta descomposición en un clima frío, figura 2.7). Producto del trabajo de las últimas décadas y de incentivos estatales para su remoción, extensas superficies han sido incorporadas a la producción ganadera.

La zona intermedia dominada por el clima húmedo intermedio es la zona de mayor potencial pecuario de la región de Aysén, donde es posible lograr mayores producciones de materia seca y diversificar la base forrajera, con praderas sembradas, alfalfa, y cultivos forrajeros como cereales y brásicas (nabos, rutabagas, raps). También es aquella zona donde se encuentra la mayor concentración de mejores suelos y consiguientemente la mayor proporción de la masa ganadera regional (figura 2.8).

Por otra parte, las zonas más altas de la zona intermedia, si bien tienen igualmente potencial ganadero, se caracterizan por una temporada de crecimiento más corta y condiciones climáticas más rigurosas. En esta zona de clima andino boreal, el bosque de lenga (figura 2.9) aún sigue siendo importante y su uso con fines ganaderos es limitado y muchas veces inadecuado, al afectar la regeneración natural del mismo.



Figura 2.7. Destrucción de bosque nativo de lenga por efecto del fuego (siglo XX) y presencia de palizadas muertas.

Una característica de esta zona agroclimática es la ocurrencia de fuertes vientos en primavera y verano, los que soplan preponderantemente desde el oeste. Estos vientos provocan altas tasas de evapotranspiración especialmente en verano. En conjunto con la menor plu-

viometría de esa época, generan sequías estivales, las que se han hecho más recurrentes en años recientes. Los vientos fuertes también son causantes de problemas de erosión eólica, lo que se trabsforma en un problema en zonas expuestas donde se debe labrar el suelo para establecer praderas o cultivos.



Figura 2.8. Zona de Valle Simpson, con un paisaje agropecuario característico de la zona intermedia de clima templado húmedo intermedio.



Figura 2.9. Zona de Alto Baguales, característica del clima andino boreal con bosque de lenga.

Los suelos de la zona intermedia se han originado a partir de cenizas volcánicas, producto de las sucesivas erupciones y depósitos de este material sobre los valles de la zona. Es habitual encontrar suelos enterrados, es decir suelos ya formados, los que fueron cubiertos subsecuentemente por nuevas cenizas. Los suelos son principalmente andisols (aunque también se encuentran inceptisols y entisols en ciertas áreas específicas). Son suelos profundos, de texturas livianas (franco arenosos a francos) y con drenaje rápido. Su contenido de materia orgánica es elevado, como también su capacidad de intercambio catiónico. Son ricos en calcio y magnesio, mientras que la saturación de aluminio es cercana a cero. Los valores de pH se mueven habitualmente entre 6 y 6,5. Los niveles de potasio son generalmente adecuados, salvo cuando se realizan manejos altamente extractivos.

Una característica importante de estos suelos es su deficiencia de azufre, elemento que se encuentra casi siempre en niveles extremadamente bajos (0-2 mg/kg), por lo que la respuesta a la aplicación de este nutriente es muy significativa y debe considerarse como primera prioridad. Secundariamente, los valores de fósforo habitualmente requieren ser corregidos, pero siempre acompañados de una dosis de azufre.

Sectores característicos de la zona intermedia son Coyhaique, Valle Simpson, Lago Pollux, Baguales, Las Bandurrias, Villa Castillo, entre otros. Existen zonas transicionales, que presentan características diferentes, generalmente zonas más secas y/o frías, que comparten algunas características de las señaladas, pero que difieren también en condiciones de suelo y presentan generalmente menor potencial productivo producto de dichas limitaciones (figura 2.10). Es el caso de zonas como Lago Verde, El Gato, Cochrane, San Lorenzo, El Richard, etc.)



Figura 2.10. Zonas de transición presentes en la zona intermedia en sectores más fríos y secos.

Zona de estepa

La zona de estepa de Aysén ocupa algunos sectores orientales de la región, en zonas limítrofes con Argentina. Esta zona agroclimática se asocia a un bioma de estepa con pastizal de coirones, similar al que se encuentra en Magallanes y Tierra del Fuego, pero menos significativo en superficie que en dichos casos (figura 2.11).

En las localidades más altas se puede encontrar aún el clima andino boreal (Cfc) con características transicionales hacia condiciones más frías, con dominancia del bosque de ñirre. Sin embargo, el clima predominante es el clima de estepa fría (Csc). La localidad de Balmaceda representa a este último clima, con una precipitación promedio anual de 588 mm (1961-2009). La temperatura media anual es de 6,4°C, la máxima media anual es de 11,6°C, mientras que la temperatura mínima media anual es de 2,2°C. El mes más cálido presenta una temperatura media de 12°C, una máxima media de 18,1°C, y una mínima media de 6,7°C. El mes más frío tiene una temperatura media de 0,2°C, una máxima media de 3,8°C, y una mínima media de -2,7°C. La amplitud térmica media entre el mes más cálido y el más frío es de 11,8°C (en base a datos de DMC, 2014). La precipitación ocurre principalmente en invierno y producto de fuertes vientos del oeste se presenta siempre déficit hídrico en el verano.



Figura 2.11. Ambiente de estepa fría con vegetación natural del pastizal de coirón.

El coironal o pastizal de coirón es el único ambiente de herbáceas nativas de la región de Aysén. Se trata de una comunidad de diferentes especies gramíneas, como festucas (ej. *Festuca palleescens*) y estipas (*Stipa spp*), entre otras. La condición del coironal es variable según los sitios, dependiendo de las condiciones de humedad y del manejo existente. Estas praderas naturales son utilizadas principalmente por sistemas ovinos extensivos, aunque también bovinos de carne en ciertas zonas.

Los suelos de la zona de estepa son diversos, pero suelen encontrarse mollisols, suelos muy evolucionados, pero que no pueden expresar su potencial en estas condiciones limitantes de humedad y bajas temperaturas. Son francos a franco arcillosos, con pH de 6 o superior, con alta capacidad de intercambio catiónico, sin problemas de saturación de aluminio y bajos niveles de azufre. Sin embargo, la fertilidad parece no ser una limitación determinante en estos suelos, ya que el potencial de crecimiento del pastizal es bajo y no responde habitualmente a la aplicación de nutrientes. En algunos casos, se pueden regar los coironales y establecer praderas mixtas o alfalfa, alcanzándose altos rendimientos. En dichos casos, la fertilización pasa a ser de gran importancia.

Localidades características de la zona de estepa en Aysén son Balmaceda, Coyhaique Alto, Ñirehuao, Ceballo y Alto Río Cisnes.

Zona de Microclima

La zona de microclima de Aysén se limita a pequeñas localidades en las costas de los lagos General Carrera y Cochrane, como Chile Chico, Bahía Jara, Puerto Ibáñez, Fachinal, y la costa sur del Lago Cochrane (figura 2.12). Son pequeños valles insertos en zonas semiáridas de estepa o matorral xerofítico que los circundan. El clima que poseen es templado seco estival (Csb). La pluviometría es baja (ej. Chile Chico <250 mm anuales). La influencia de los lagos atenúa la amplitud térmica y la baja pluviometría se compensa con sistemas de riego. No obstante, ocurren heladas tardías de noviembre, por lo que deben tomarse medidas de prevención y control para el desarrollo de los cultivos.



Figura 2.12. Zona de microclima. Chacras de Puerto Ibáñez.

En esta zona se encuentran suelos mollisols e inceptisols, los que pueden destinarse a labores agrícolas debido a la existencia de sistemas de riego. En efecto, en Chile Chico y Bahía Jara se encuentran huertos de cerezas, que, con sistemas de control de heladas, producen fruta de excelente calidad exportable (figura 2.13). En estos valles se desarrolla también agricultura hortícola y chacarería, además de alfalfa de riego.



Figura 2.13. Cultivo de cerezos en zona de microclima con sistemas de riego.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE PRECIPITACIONES Y TEMPERATURAS

Existen modelos que muestran las gradientes térmicas y pluviométricas de diferentes zonas del planeta. Hijmans et al (2005) desarrollaron un modelo global en base a interpolación de información climática, el cual en la región de Aysén parece explicar adecuadamente las variaciones observadas. En las figuras siguientes se muestran los resultados de estos modelos, para los casos de temperatura media, temperatura máxima media del mes más cálido, mínima media del mes más frío, y pluviometría anual.

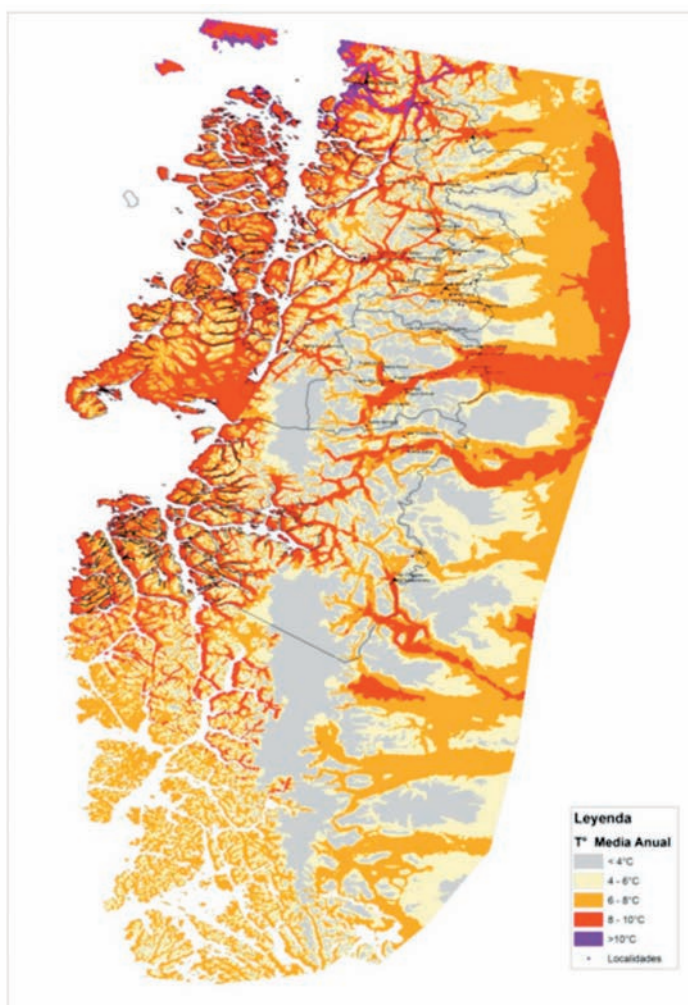


Figura 2.14. Distribución de temperaturas medias anuales en la Patagonia Occidental (Aysén)

En la figura 2.14 se muestra la distribución de la temperatura media anual en Aysén. Las mayores temperaturas (8-10°C, color rojo) se asocian a zonas cercanas a los lagos General Carrera y Cochrane, como también a ciertos valles de la zona húmeda, además de partes orientales en la Patagonia argentina. El color naranja muestra los sitios con temperaturas medias de 6-8°C, frecuentes en los valles de la zona intermedia y parte de la estepa. El color amarillo se asocia a temperaturas medias de 4-6°C y corresponde a zonas esteparias.

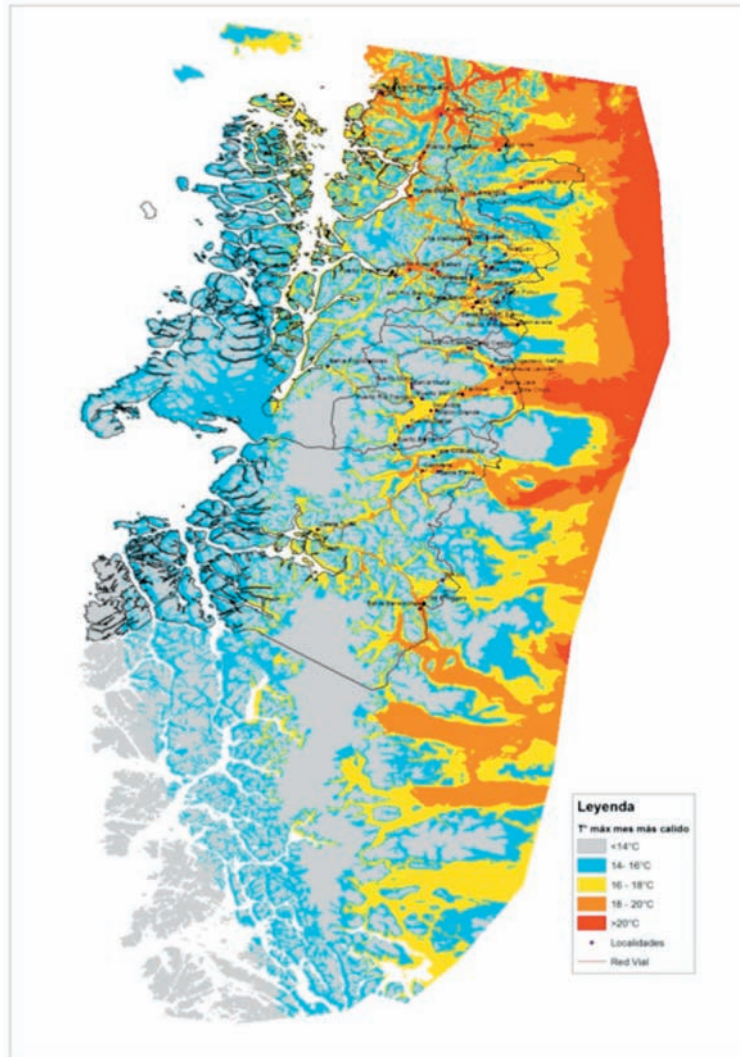


Figura 2.15. Distribución de temperaturas máximas medias del mes más cálido (enero)

En la figura 2.15 se aprecia la distribución de temperaturas máximas medias del mes más cálido (enero) para la región de Aysén. Se observa que las temperaturas máximas mayores se producen hacia el oriente de la región (zonas intermedia y de estepa), mientras que en las zonas húmedas y litorales las temperaturas máximas son más atenuadas.

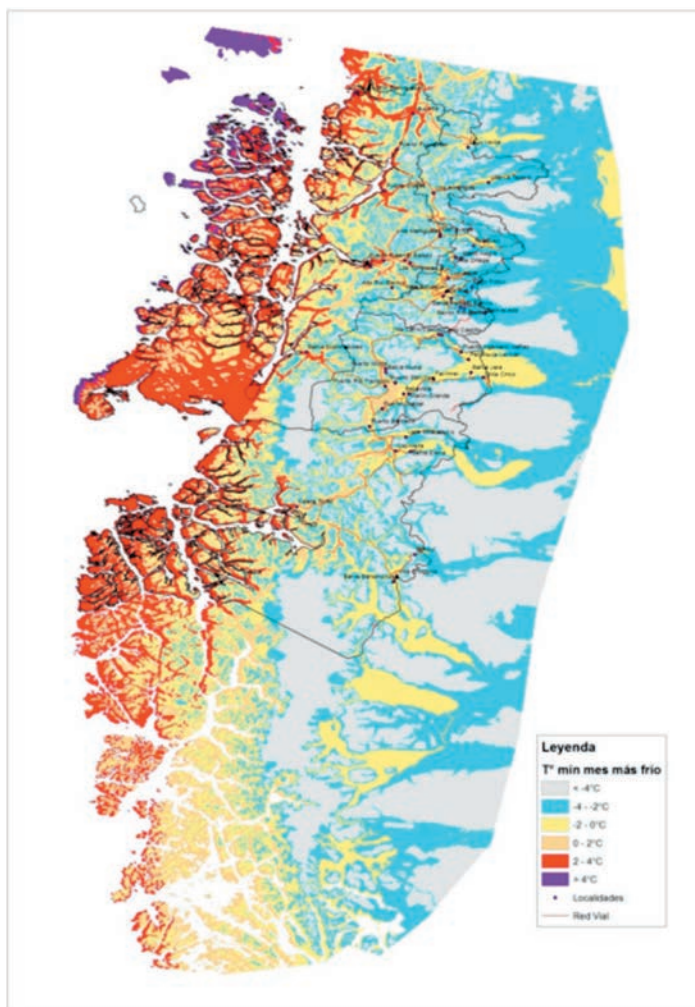


Figura 2.16. Distribución de temperaturas mínimas medias del mes más frío (julio).

En la figura 2.16 se aprecian las temperaturas mínimas medias del mes más frío (julio). Aquí se aprecia lo contrario de la figura anterior, con temperaturas más frías en el sector oriental respecto del occidental. En las tres figuras anteriores se aprecia el efecto de la red orográfica sobre las temperaturas, como también la situación de los campos de hielo norte y sur.

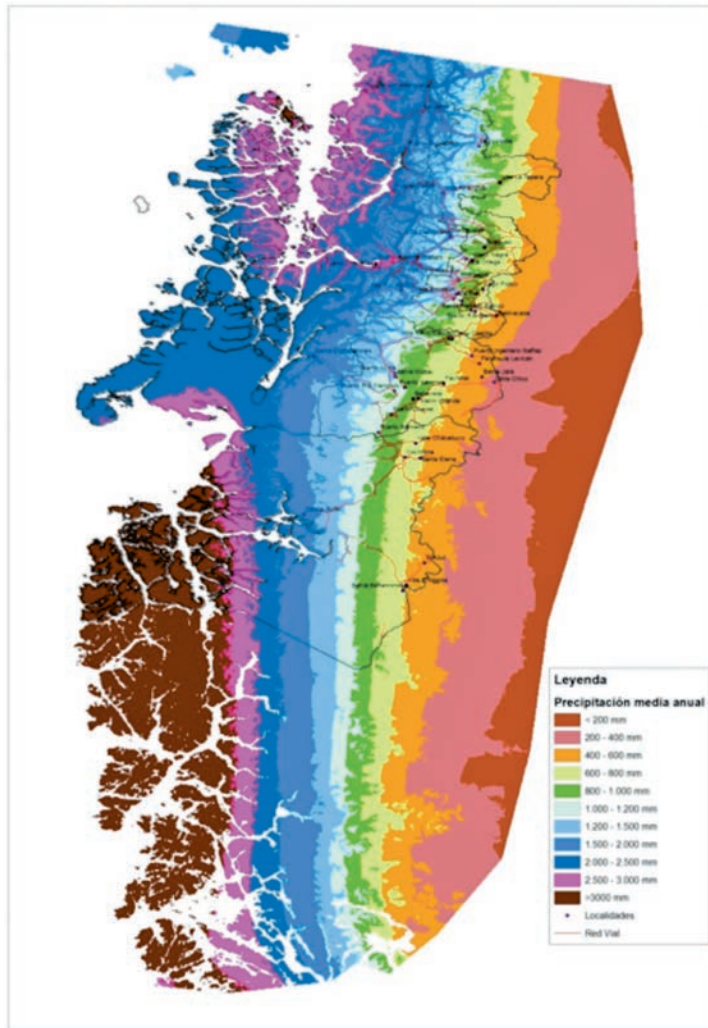


Figura 2.17. Distribución de temperaturas mínimas medias del mes más frío (julio).

La figura 2.17 muestra la distribución de caída pluviométrica anual para la región de Aysén. Se aprecia claramente una gradiente de mayor a menor precipitación desde la zona occidental hacia la oriental. La zona insular presenta lluvias promedio anuales superiores a 3.000 mm, mientras que en el extremo oriental hay zonas con menos de 400 mm de precipitación. En Aysén se observa un fenómeno de “sombra de lluvias”, en que los vientos del oeste procedentes del océano Pacífico, descargan gran parte de la humedad en la vertiente occidental de Los Andes.

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

Cruces, P., Ahumada, M., Cerda, J. y Silva, F. 1999. Guías de Condición para los Pastizales de la Ecorregión Boreal Húmeda de Aysén. Subdepartamento de Divulgación Técnica, Servicio Agrícola y Ganadero.

Cruces, P., Cerda, J. y Ahumada, M. 1999. Guías de Condición para los Pastizales de la Ecorregión Templada Húmeda de Aysén. Subdepartamento de Divulgación Técnica, Servicio Agrícola y Ganadero.

Dirección Meteorológica de Chile (DMC). 2014. Estadísticas meteorológicas históricas. Acceso a www.meteochile.cl. Climatología - Productos climatológicos actuales e históricos. Acceso septiembre 2014.

Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J. Jones, P. y Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25: 1965–1978.

IGM 2005. Atlas Región de Aysén. Instituto Geográfico Militar de Chile. LOM Ediciones Ltda. Santiago 43 pp.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE). Estadísticas nacionales en www.ine.cl. 2014.

Martinic, M. 2005. De la Trapananda al Aysén. Una mirada reflexiva sobre el acontecer de la Región de Aysén desde la Prehistoria hasta nuestros días. Libro XXXVIII de la Biblioteca del Bicentenario; Pehuén Editores, Santiago, 539 pp.

Navarro Floria, P. 2004. *Patagonia: Ciencia y Conquista*". General Roca (R N), Argentina.

Silva, F., Ahumada, M. y Cerda, J. 1999. Guías de Condición para los Pastizales de la Ecorregión Templada Intermedia de Aysén. Subdepartamento de Divulgación Técnica, Servicio Agrícola y Ganadero.

Silva, F. 2012. Flora Agropecuaria de Aysén. Servicio Agrícola y Ganadero SAG. Región de Aysén. Impresora Feysler Ltda. 508 pp.

3. ECORREGIONES DE AYSÉN

Fernán Silva

Departamento de Recursos Naturales
Servicio Agrícola y Ganadero SAG
Coyhaique, Región de Aysén

INTRODUCCIÓN

La definición de biomas o ecorregiones se hace necesaria como primera aproximación a la identificación de los recursos naturales renovables de un predio o sector. El problema surge cuando las escalas tradicionales donde se definen biomas, zonas naturales o biogeográficas se representan a escalas mundiales o de regiones, pero nunca a una escala de detalle que permita identificar el contexto de los recursos prediales o el potencial productivo a escala humana y de sub-cuenca. Otro inconveniente ocurre al establecerse que los modelos agroclimáticos están sujetos a cambios interanuales y entre décadas, que hacen aún más compleja la determinación de los ecosistemas prediales (Chen & Chen, 2013).

La clasificación climática de Koeppen (1918, 1948), si bien es jerárquica y se basa en parámetros objetivos como es la distribución espacio - temporal de la temperatura, la precipitación y otras variables meteorológicas, no siempre logra explicar diferencias naturales de la vegetación, como son, por ejemplo, la transición de bosque siempreverde a bosque deciduo y de bosque deciduo a estepa (Peel et al, 2007).

Se han desarrollado numerosas actualizaciones y modificaciones al sistema de Koeppen a través de sensores satelitales como el NOAA y redes meteorológicas como las publicadas por Hijmans et al (2005), que ciertamente son una herramienta eficaz para fundamentar la delimitación a escala de detalle, que es el propósito de este ensayo. Por lo anterior fue necesario asumir criterios biogeográficos para establecer los límites climáticos. Al respecto una buena aproximación se observa en la clasificación bioclimática de Luebert & Plischoff (2006).

Otro problema que surge al basarse en sistemas tradicionales de Gajardo (1994) y Luebert & Pliskoff, (2006), es que no son totalmente jerárquicos y por lo tanto, existen tantas clases (127) que se confunden unas con otras y tienen demasiados elementos comunes que no permiten diferenciar potenciales productivos ni limitantes entre cada piso vegetacional.

PROPUESTA DE ECORREGIONES PARA AYSÉN

Este trabajo se basa fundamentalmente en establecer las diferencias ecosistémicas más significativas y evidentes que se puedan determinar a escala predial y comunal. Para construir las ecorregiones se trabajó como mapa base la actualización del catastro del bosque nativo (Conaf, 2011), y en esa cobertura se creó un campo de ecorregiones y se asumieron criterios de selección por atributos que se resumen en la Figura 3.1, donde se muestra un perfil biogeográfico modificado de Quintanilla (2005).

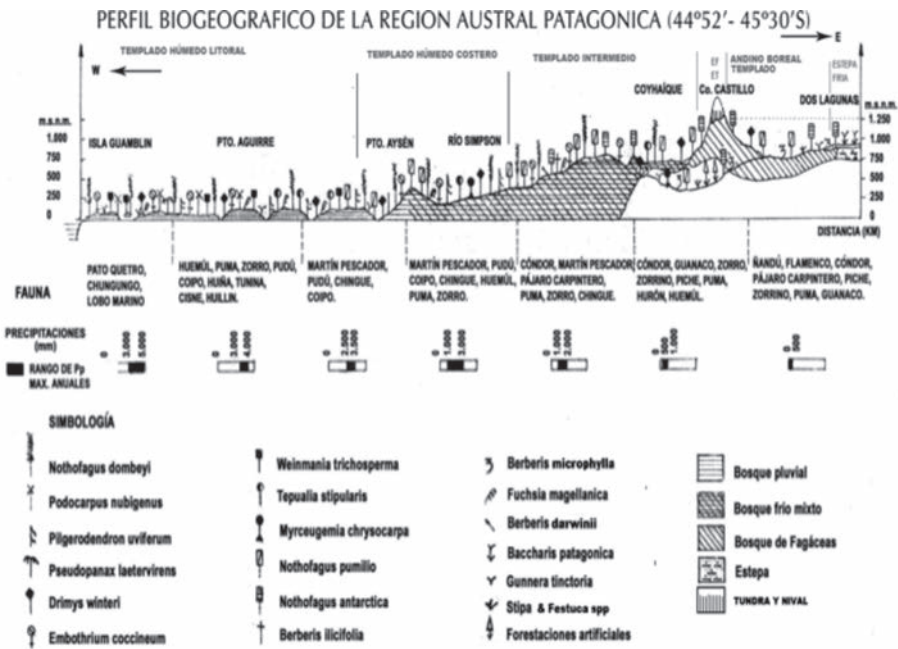


Figura 3.1. Perfil biogeográfico de las ecorregiones de Aysén (Modificado de Quintanilla, 2005)

Los criterios y caracterización de cada ecorregión consideran el uso, el tipo y subtipo forestal y las especies presentes. Junto con ello se utilizan las definiciones de isoyetas, isotermas y de curvas de nivel, las que se contrastan con las definiciones de reino, dominio y ecorregión en base a reglas de Koeppen (1948).

El cuadro 3.1 muestra las características que considera cada una de las ecorregiones definidas para la región de Aysén, en base a los procedimientos y parámetros ya indicados.

Ecorregión Sigla de Koeppen	Nombre	Ejemplos de localidades afines	T° media (°C)	pp (mm)	Altitud M	Área x1000 ha	Especies
Cfb'ni	Templada húmeda litoral	Raúl Marín Balmaceda, Isla Magdalena, El Repollal, Isla Melchor,	8,3 a 10 <5 °C T° media del mes más frío y el más cálido	2500	nivel del mar		Flora: Mosque de coihue de Chiloé, bosque de Tepú (<i>Tepualia stipularis</i>) y mirtáceas en general. Fauna: quetro, chungungo, güillín, lobo marino.
Cfbn	Templado húmedo costero	Parque Nacional Bernardo O'Higgins, Puerto Aysén, Puerto Cisnes, Puerto Chacabuco, Tortel, Mañihuales, La Junta,	7.7 a 9	1200- 2500	0 a 200		Flora: tepa (<i>Laureliopsis philippiana</i>), mañío macho (<i>Podocarpus nubigenus</i>), mañío de hojas cortas (<i>Saxegothea conspicua</i>), nalca (<i>Gunnera tinctoria</i>), chilco (<i>Fuchsia magellanica</i>). Fauna: Martín pescador, pudú, chingue, huillín.
Csb	Templada de microclimas	Templado de microclimas: Puerto Ibáñez, Chile Chico, Cochrane, Bertrand, Tranquilo	9.4	215- 500	350 a 200		Nativas: coihue (<i>Nothofagus dombeyi</i>), maitén (<i>Maytenus magellanica</i>), laura (<i>Schinus marchandii</i>), yaqui (<i>Colletia hystrix</i>). Fauna: Huemul, Martín, peludo.
Cfb	Templado húmedo intermedio	Coyhaique, El Blanco, Villa Cerro Castillo, Santa Elena, Villa Ortega	7.8	900	500 a 350		Nativas: coihue (<i>Nothofagus dombeyi</i>), lenga (<i>N. pumilio</i>), maitencillo (<i>Maitenus distichia</i>), maitén (<i>M boaria</i>), chacay (<i>Discaria chacaye</i>). Fauna: peludo, Martín pescador, huemul.
Cfc	Templado húmedo frío	Cordilleras de la Península de Taitao y Parque Bernardo O'Higgins. Vegetación en torno a los glaciares.	7.6	900	500 a 350		Nativas: Matorrales de zarzaparrilla (<i>Ribes magellanicum</i>), chaura (<i>Pernettya mucronata</i>), calafate (<i>Berberis ilicifolia</i> , <i>Berberis microphylla</i>), mata verde (<i>Chillotrichicum diffusum</i>), meki o siete camisas (<i>Escallonia alpina</i>) y pastizales húmedos con pasto serrucho (<i>Blechnum penna-marina</i>), panguecillo (<i>Gunnera magellanica</i>). Fauna: peludo, Martín pescador, huemul, carancho, zapo variagado de las turberas.

Ecorregión (Sigla de Koeppen)	Nombre	Ejemplos de localidades afines	T° media anual (°C)	Pp (mm)	Altitud (m)	Área x1000 ha	Especies
Csc	Estepa	Coyhaique Alto, Estancia Cisnes Valle Chacabuco	7 a 8.9	570 a 600	<1200 a 600	340	Flora: mata verde (<i>Chiliotrichicum diffusum</i> , <i>pingo pingo</i> (<i>Ephedra frustillata</i>), <i>coirón blanco</i> (<i>Festuca pallescens</i>) y <i>cola de zorro</i> (<i>Hordeum comosum</i>). Fauna: Ñandú, flamenco, puma, zorro culpeo, águila, aguilucho, guanaco, piche.
Cfc	Andino Boreal	El Triana	3,3-7,2		700 a 500	Variedad templada: 726 Variedad fría: 1.217	Nativas: lenga (<i>Nothofagus pumilio</i>), ñire (<i>N. antártica</i>), <i>calafate</i> (<i>Berberis microphylla</i>), <i>zarzaparrilla</i> (<i>Ribes magellanicum</i>) y <i>Ribes cucullatum</i> . Fauna: Huemul, zorro culpeo, peludo, huiña, chingue, cóndor.
ET	Tundra	El Fraile, El Katerfield Cerro Cinchao	<10°C todos los meses		>1200	912	Nativas: <i>Empetrum rubrum</i> , <i>Hamadryas kingii</i> , <i>Senecio subdiscoideus</i> , <i>Oxalis adenophylla</i> , <i>Oreopulus glacialis</i> , <i>Menonvillea nordenskjöldii</i> y <i>Caltha sagittata</i> . Fauna: Cóndor, huemul, guanaco.
EF	Glaciales y nieves	No hay registros	Cercana a 0°C		>1500	1.559	Escoriales estériles

Cuadro 3.1. Criterios de definición y características de las ecorregiones de Aysén.

En la Figura 3.2 se muestra el mapa actualizado de las Ecorregiones de Aysén sobre la base de los límites de los tipos y subtipos forestales y especies dominantes establecidas por el Catastro del Bosque Nativo (Conaf, 2011).

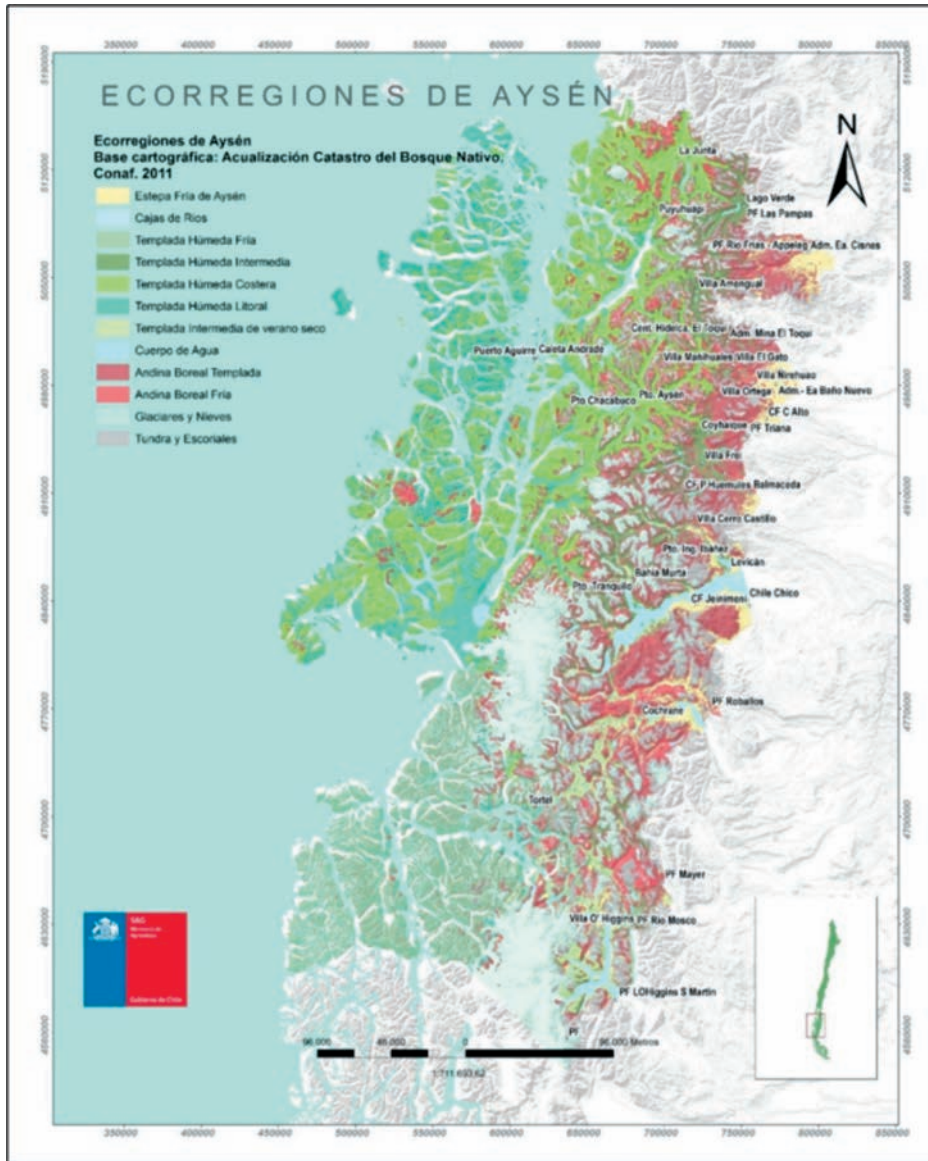


Figura 3.2. Mapa de ecorregiones según Koppen (1948), actualizado sobre la base de Conaf (2011).

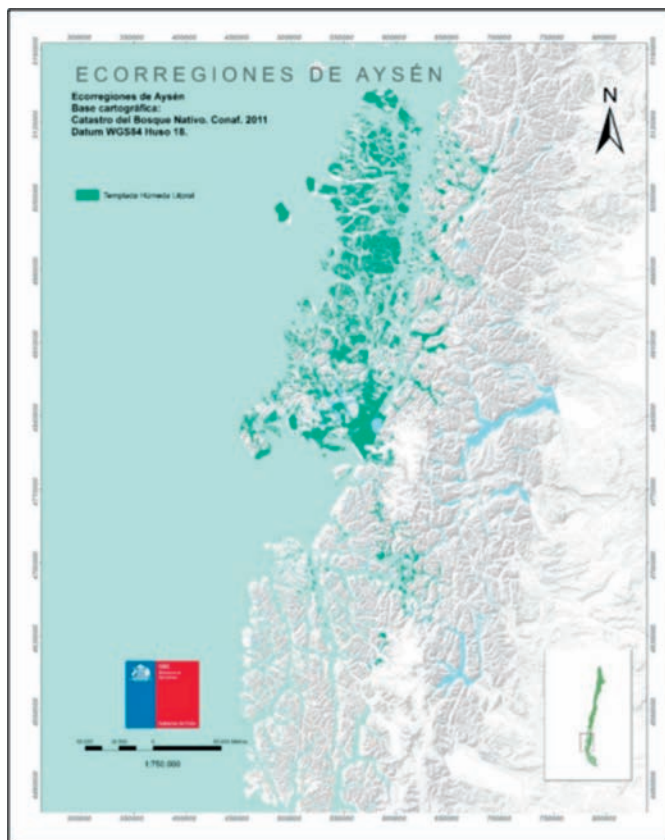
Reino Templado

Dominio Templado húmedo

Ecorregión Templada húmeda litoral (Cfbni)

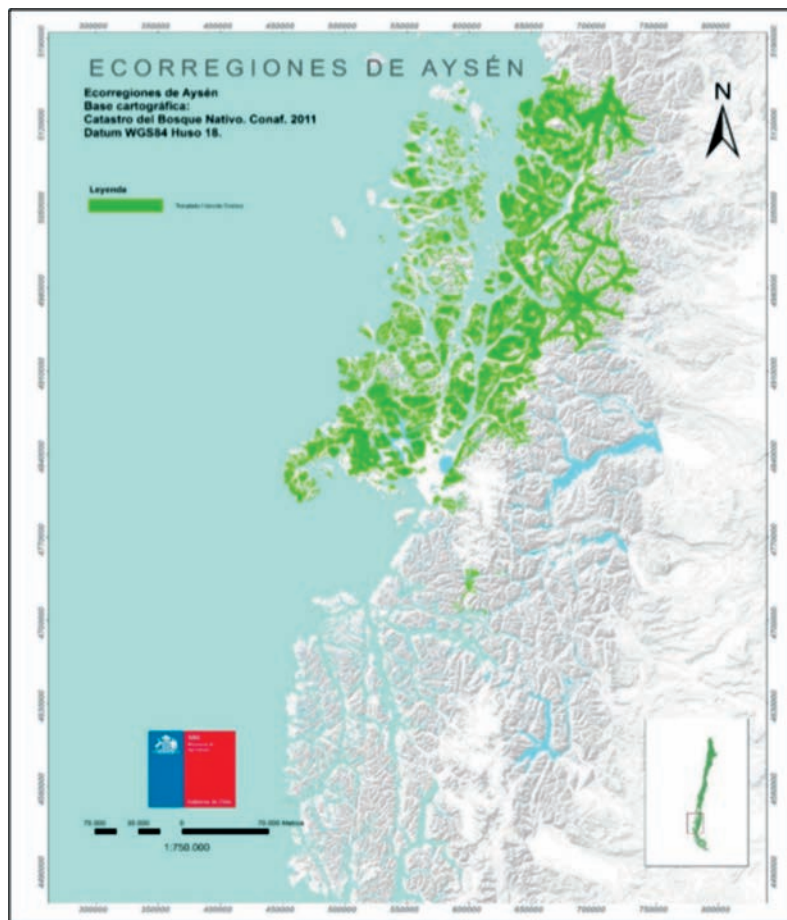
Lugares representativos son las islas – Repollal, Melinka, Guamblin, Ipun, Stokes y Kent, en particular desde el nivel del mar hasta los 100 m de altura. La vegetación dominante son las comunidades del bosque de coigüe de Chiloé, el bosque de mirtáceas y el bosque de tepú. También están presentes las comunidades de marismas, pantanos, dunas, turberas y cipresales; matorrales de ñipa, chilco, zarzaparrilla y calafate (Alvear et al, 2010).

En Melinka el clima es templado húmedo y lluvioso con más de 3.100 mm al año y 10 °C de temperatura media. En general las temperaturas medias varían menos que en el continente entre el invierno y el verano, y entre el día y la noche, llegando a ser de carácter isoterma según el sistema de Koeppen (1948).



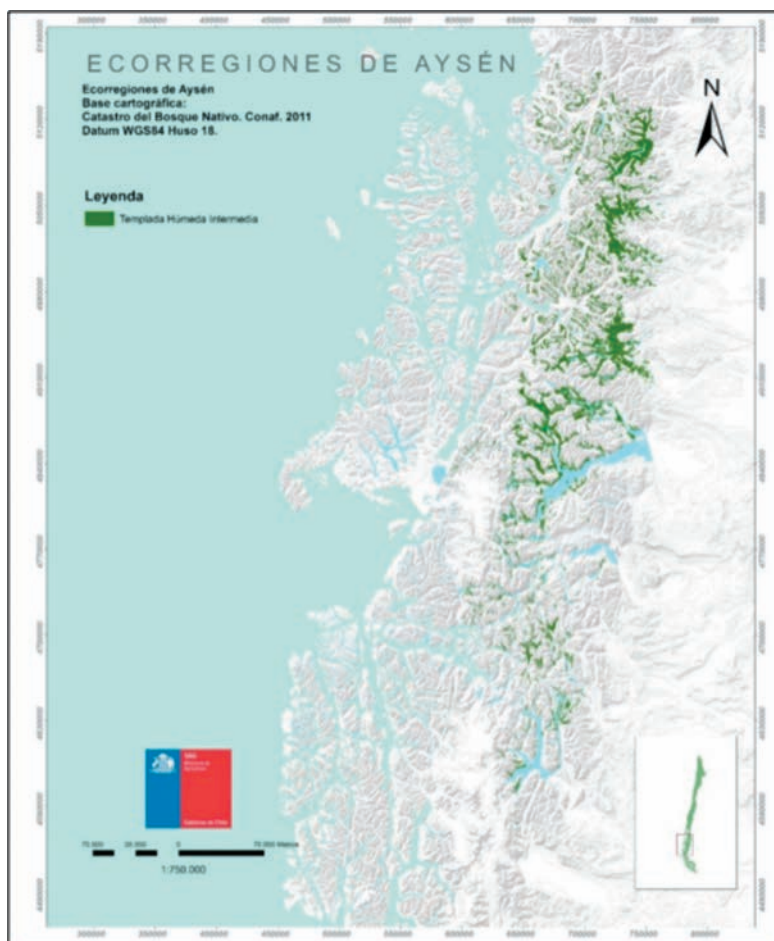
Ecorregión Templada Húmeda costera (Cfbn)

Lugares representativos de esta ecorregión son Puerto Cisnes, Puyuhuapi, Puerto Aysén y Murta. Domina la selva tipo valdiviana de coigüe, tepa y mañío y en bosques pantanosos la luma, pitra, picha, coigüe de Chiloé canelo y luma. Otras especies acompañantes son las quila taihuén, quila vutra, colihue, maqui, lilén (aromo), calafate y michay, entre otras enredaderas, hierbas y epífitas (Promis et al, 2013). La precipitación supera los 1.200 mm al año en Murta y es cercana a los 3.000 mm en Puyuhuapi, mientras que la temperatura media anual es cercana a los 9°C.



Ecorregión Templada húmeda intermedia (Cfb)

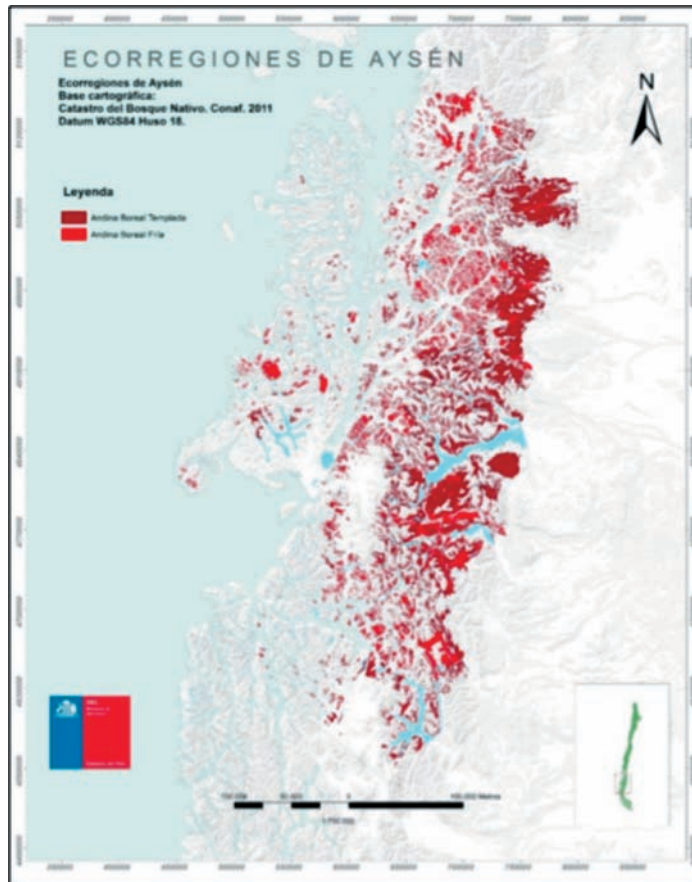
Los lugares representativos de esta ecorregión son Futaleufú, Alto Palena, Lago Verde, Coyhaique, Cochrane y Villa O'Higgins. Corresponde a los valles intermontanos al interior de Aysén en la llamada zona intermedia. Domina el tipo forestal de lenga pero con la participación de coigüe. Es una zona de transición hacia los bosques entre la selva valdiviana y los bosques andino- patagónicos. Dominan las praderas antrópicas a base de trébol blanco – rosado y pasto ovillo que se degradan a praderas de pasto miel, hierba del chanco, pimpinela y diente de león. Las temperaturas medias anuales son cercanas a 8 °C y la precipitación entre 800 y 1.200 mm.



Ecorregión Andina Boreal Templada y Andina Boreal fría (Cfc)

Los lugares representativos son El Richard, Portezuelo Cerro Castillo, El Gato, Río Norte, entre otros. El tipo forestal dominante es el de lenga y el subtipo ñire (Vidal et al, 2011). Hacia el oriente esta ecorregión degenera en un matorral de ñire y estepa patagónica. En el sotobosque pueden acompañar calafate, zarzaparrilla, mata verde, michay del bosque y colihue.

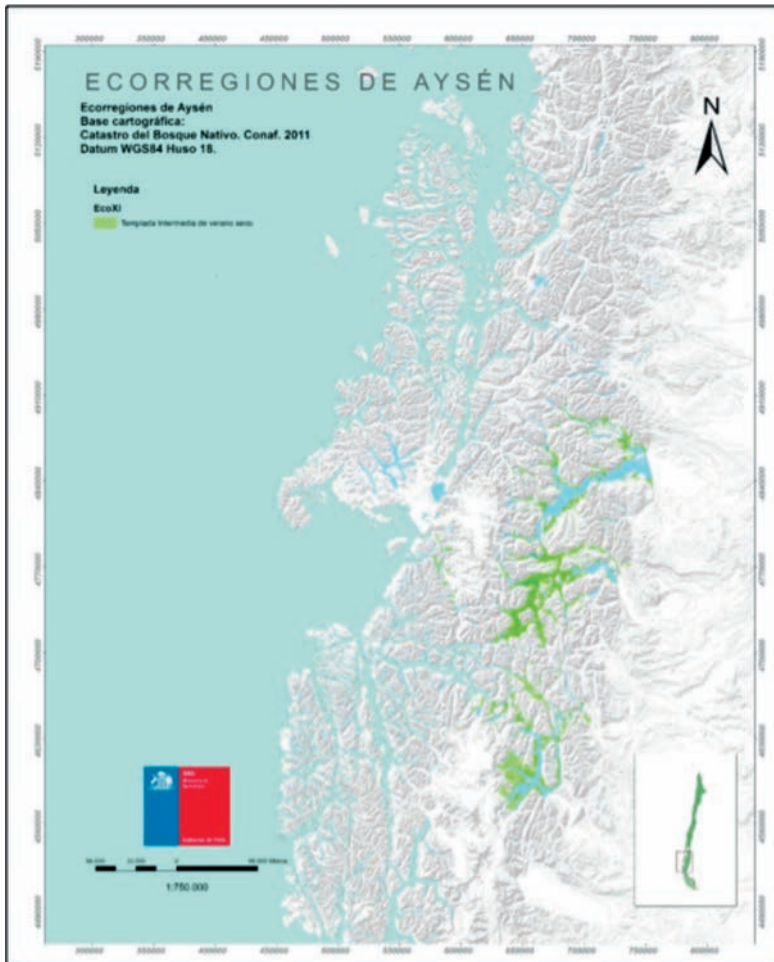
Por su amplia dispersión y magnitud, se puede dividir en una subregión andino boreal templada entre el límite con el bosque mixto coigüe – lenga de la ecorregión templada intermedia y los 600 m de altitud; por sobre ésta se encontraría la ecorregión andino boreal fría hasta los 1.200 - 900 m de altitud, dependiendo de la latitud, donde el *krummholz* de lenga o ñire da lugar a la tundra alto andina.



Dominio Templado seco estival

Ecorregión Templada seco estival (Csb)

Este es un clima que se asemeja al de Chile central pero con nieves y heladas invernales persistentes. Corresponde a los microclimas de los lagos General Carrera, Cochrane y O'Higgins. Es semejante a la ecorregión templada húmedo intermedia pero de verano seco.

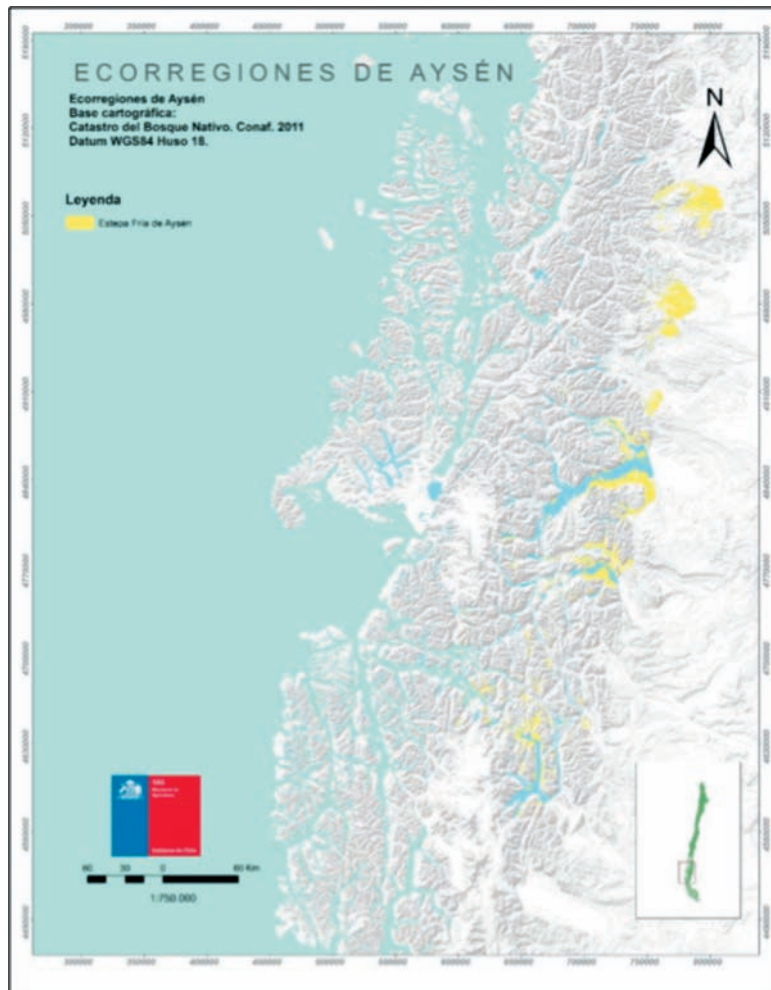


Reino Seco

Dominio Estepario

Ecorregión Esteparia fría (Csc)

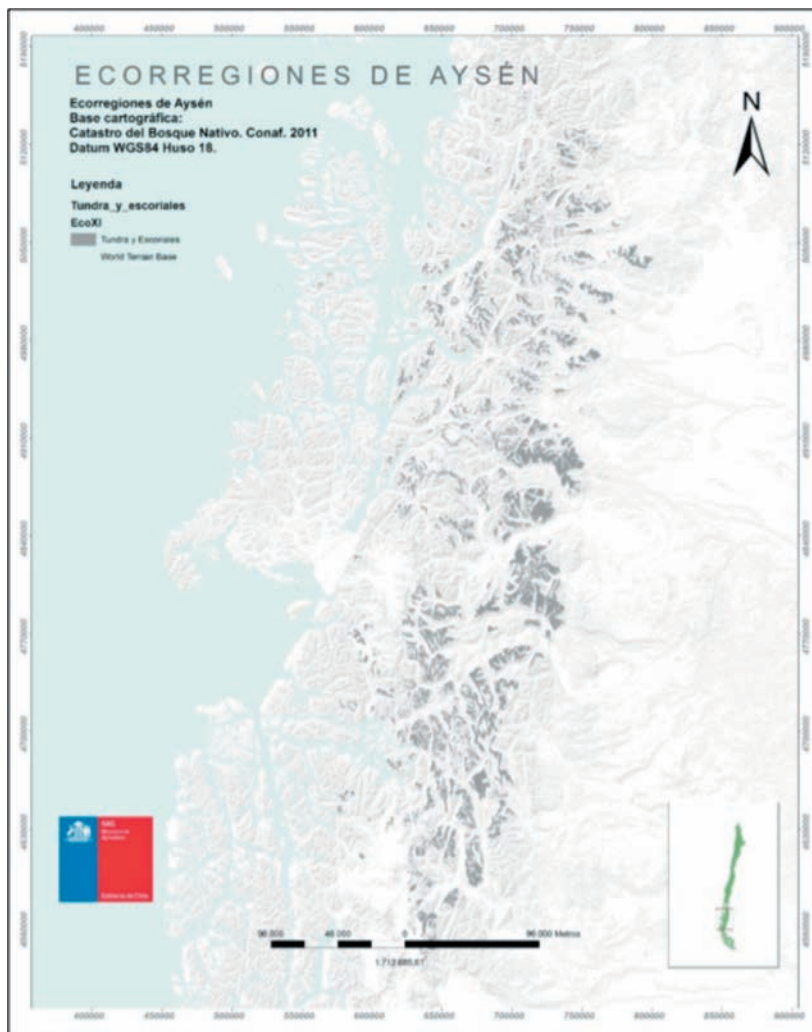
Esta ecorregión considera localidades típicas como Alto Río Cisnes, Ñirehuao, Coyhaique Alto, Balmaceda, Cebalbo y otros cercanos al límite argentino. Está dominado por bosque achaparrado de ñire, pero especialmente por una estepa de gramíneas denominada coironal.



Reino Nevado
Dominio Tundra

Ecorregión de Tundra de altura (ETH)

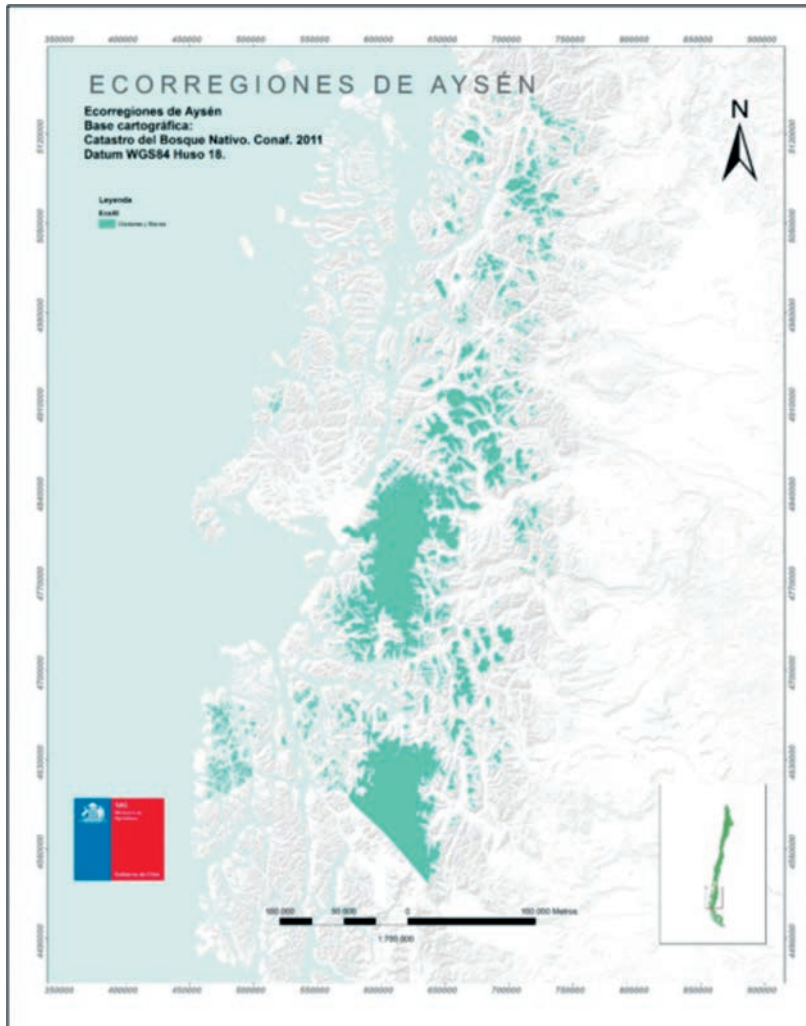
Corresponde a los sectores elevados, habitualmente sobre 1.200 m de altitud, cercano a límite vegetacional.



Dominio Nival (de altura)

Ecorregión de glaciares y nieves eternas (EFH)

Esta ecorregión está representada por los campos de hielo norte y sur, además de los sectores de alta montaña con cobertura habitual de hielo y/o nieve. No presenta vegetación de plantas superiores.



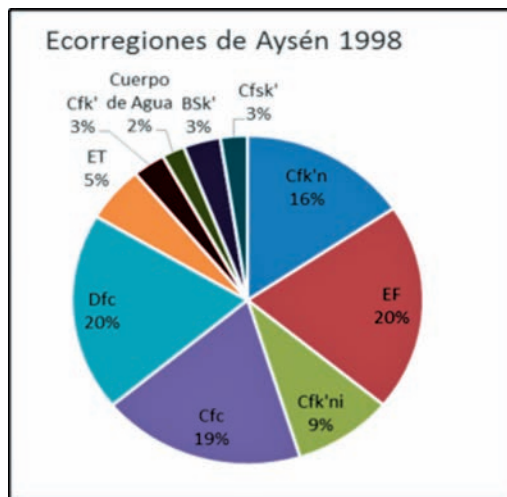
COMENTARIO FINAL

La Patagonia se está viendo afectada severamente por el cambio climático, con una disminución significativa de la isoterma de los cero grados, provocándose recurrentes lluvias invernales en los climas nivales. Ello desencadena crecidas y desbordes en los cursos de agua. También se observan ondas anormales de calor en verano y estos fenómenos se hacen más dramáticos en las zonas degradadas (Romero et al 2008).

Las ecorregiones que se definieron están en proceso de depuración en función de las actualizaciones que se generen del catastro del bosque nativo y de precisiones que se puedan alcanzar al sobreponer las variables climáticas que surjan de modelos más precisos. También es pertinente ajustar esta propuesta a cambios climáticos que se generen a largo plazo, siendo los climas nivales y de tundra los más dinámicos en este sentido.

Una adecuada caracterización climática, vegetacional y de otros recursos, será necesaria para depurar el carácter de cada ecorregión, sus aptitudes y capacidades, vocaciones productivas y paisaje. Así también será necesario establecer los riesgos naturales y ambientales de cada uno de estos ecosistemas.

Una comparación de la primera definición de ecorregiones realizada por Scheu (1998) y la modificada actual, se presenta en la figura 3.3, donde se aprecian cambios considerables en la composición de las mismas.



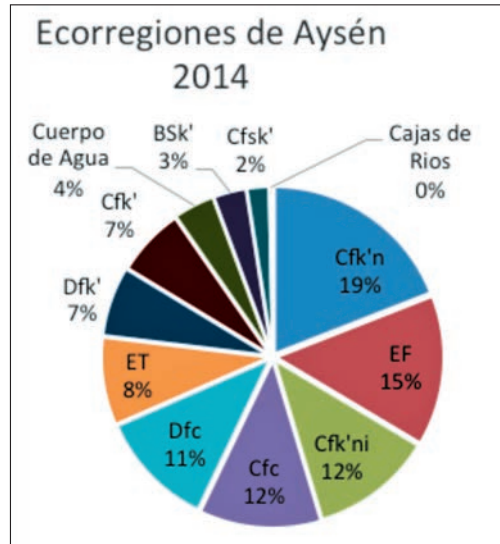


Figura 3.3 Comparación de la superficie (%) de las ecorregiones publicadas por Scheu (1998, arriba) y las de este trabajo bajo la nomenclatura original (abajo).

BIBLIOGRAFÍA

Aldridge, D. Y Alvear, N. 1987. Resumen de antecedentes de flora y fauna en la XI región Aysén. Publicación de divulgación 11(13). Corporación Nacional Forestal, Ministerio de Agricultura, Coyhaique. Chile.

Belda, Holtanová, Halenka, Kalvová. 2014. Climate classification revisited: from Köppen to Trewartha. *Climate Research* VOL. 59: 1–13, 2014 DOI: 10.3354/CR01204.

Chen, D. and H. W. Chen, 2013: Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901–2010. *Environmental Development*, N°6, 69-7910.1016/j.envdev.2013.03.007.

Cruces, P., Ahumada, M., Cerda, J. y Silva, F. 1999. Guías Descriptiva de Sitios Misceláneos para la Conservación y de Menor Valor Forrajero de la Región de Aysén. Subdepartamento de Divulgación Técnica, Servicio Agrícola y Ganadero.

Cruces, P., Ahumada, M., Cerda, J. y Silva, F. 1999. Guías de Condición para los Pastizales de la Ecorregión Boreal Húmeda de Aysén. Subdepartamento de Divulgación Técnica, Servicio Agrícola y Ganadero.

Cruces, P., Cerda, J. y Ahumada, M. 1999. Guías de Condición para los Pastizales de la Ecorregión Templada Húmeda de Aysén. Subdepartamento de Divulgación Técnica, Servicio Agrícola y Ganadero.

Domínguez, Aguilera, Villa-Martínez, Aravena y Henríquez. 2012. Estudio etnobotánica de la isla Kalau, territorio ancestral kawesqar, Región de Magallanes, Chile. *Anales Instituto Patagonia (Chile)*, 2012. 40(2):19-35.

Gajardo, R. 1994. La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 165 pp.

García, N. & F. Luebert. 2008. Aporte al conocimiento de la flora y la vegetación del río Mosco, Villa O'Higgins, 48° S (Región de Aysén, Chile). *Chloris chilensis* Año 11: N° 2. URL: <http://www.chlorischile.cl>

Gastó, J.; Cosio, F Y Panario, D. 1993. Clasificación de Ecorregiones y Determinación de Sitio y Condición. Manual de aplicación de municipios y predios rurales. Red de Pastizales Andinos. Quito, Ecuador. 254 p.

Hambleton, S. 1936. La vegetación del canal y río Baker (Patagonia occidental). *Revista Argentina de Agronomía* 3(3): 159-173.

Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.

Koepfen, 1948. *Climatología*. Fondo de Cultura económica. México. D.F.

Köppen, W., 1918: Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf (Clasificación de los climas de acuerdo a la temperatura, las precipitaciones y el ciclo estacional). *Petermanns Geogr. Mitt.* 64, 193-203, 243-248. Mapa 1 y Mapa 2.

Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, y F. Rubel, 2006: Mapa del mundo de la clasificación del clima de Köppen-Geiger actualizado *Meteorol. Z.*, 15, 259-263. DOI: 10.1127 / 0.941-2948 / 2006/0130

Lara, A., P. Rutherford, C. Montory, D. Bran, A. Pérez, S. Clayton, J. Ayesa, D. Barrios, M. Gross & G. Iglesias. 1999. Vegetación de la Eco-región de los bosques valdivianos, escala 1:500.000. Informe final. Boletín Técnico N° 51. Proyecto binacional Chile – Argentina, UACH – INTA – APN – FVSA.

Luebert, F. & P. Plissock. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 316 pp.

Peel, Finlayson y McMahon. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1633-1644.

Quintanilla, V. 2005. Estado de recuperación del bosque nativo en una cuenca nordpatagónica de Chile, perturbada por grandes fuegos acaecidos 50 años atrás (44º-45º S). *Revista de Geografía Norte Grande*, 34: 73-92 (2005).

Rubel, F and Kottek, M. 2010. Observed and projected climate shifts 1901–2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 19, No. 2, 135-141 (April 2010).

Scheu, R., Ahumada, M., Cerda, J., Silva, F. y Cruces, P. 1998. Guías de condición para los pastizales de la Ecorregión Estepa Fría de Aysén. Proyecto FNDR - SAG XI Región de Aysén "Levantamiento para el ordenamiento de los ecosistemas de Aysén".

Silva, F., Ahumada, M. y Cerda, J. 1999. Guías de Condición para los Pastizales de la Ecorregión Templada Intermedia de Aysén. Subdepartamento de Divulgación Técnica, Servicio Agrícola y Ganadero.

Silva, F. 2013. Flora Agropecuaria de Aysén. Servicio Agrícola y Ganadero. 522 p.

4. CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE VALLES PRODUCTIVOS DE LA REGIÓN DE AYSÉN

Neal B. Stolpe

Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Facultad de Agronomía
Universidad de Concepción, Chillán, Chile.

INTRODUCCIÓN

La Región de Aysén tiene una superficie de 108.490 km² que es aproximadamente 14,2% de la superficie de Chile continental. Se extiende desde los 43°38' Latitud S. por el Norte y los 49°16' Latitud S. por el Sur, y desde los 71°06' Longitud O hasta las aguas del Océano Pacífico (IGM, 2005). En la Región de Aysén se pueden distinguir cinco zonas geomorfológicas, orientadas en el sentido norte-sur, que incluyen el área archipelágica, depresión central, cordillera andina, cordones sub-andinos orientales y relieves planiformes orientales. En la cordillera Andina se encuentran una serie de volcanes periódicamente activos los cuales incluyen: Hudson, Kay, Macá, Mentolat y Melimoyu (SERPLAC, 2005). Generalmente, los suelos han evolucionado en depósitos geológicos relativamente recientes (holoceno) de materiales de cenizas volcánicas y depósitos aluviales; y depósitos más antiguos (pleistoceno) de origen glacial y fluvio glacial, modificado por variaciones en los materiales generados, relieve, clima, vegetación y tiempo que son los factores de formación de suelos (Boul *et al.*, 2003). Adicionalmente, la región tiene varias ecorregiones que son zonas geográficas distintas basadas en comunidad de especies de plantas, y condiciones climáticas de precipitación y temperatura, influidas por elevación y distancia del mar (SERPLAC, 2005).

La región ha ido cambiando desde una ganadería y agricultura extensiva y básica hacia sistemas de mayor intensificación y complejidad en algunas zonas particulares. Ello se ha apoyado en estudios de la potencialidad agropecuaria realizados por el INIA desde la década del 80, y trabajos iniciales de IREN (1979) que incluyeron una descripción general de

suelos en algunos sectores de la región, y posteriormente de CIREN (2005) que realizó una actualización denominada “Descripciones de Suelos Materiales y Símbolos. Estudio Agrológico de la XI Región”. En este estudio se generó y actualizó nueva información agrológica en aproximadamente 2.730.000 hectáreas de la Región de Aysén, con descripciones detalladas de veinte (20) series y fases, y reconociendo los órdenes de suelos de Inceptisoles, Andisoles y Mollisoles en la región. Los trabajos descritos representan un buen aporte a la información del recurso suelo de la Región de Aysén, pero a diferencia de otras regiones del país, Aysén no cuenta con una caracterización y taxonomía completa y actualizada de todos sus suelos potencialmente productivos para poder manejarlos en forma sustentable. Adicionalmente, según otro estudio, la Región de Aysén posee la mayor superficie de suelos con riesgo de erosión potencial (4,97 millones de hectáreas) (CIREN, 2010). Consecuentemente, el objetivo del presente proyecto fue clasificar y caracterizar los suelos de potencial agropecuario de los valles productivos de esta región.

METODOLOGÍA

Al inicio del proyecto, se recopiló la información existente que fue relevante para el proyecto, como la cartografía y descripciones de suelos de los estudios anteriores mencionados, imágenes satelitales aportadas por el SAG y sus programas, así como la información de análisis de suelos del INIA para las diferentes zonas de la región. Luego se identificó las diferentes ecorregiones (SERPLAC, 2005) en los valles productivos de la Región de Aysén que incluyen:

Zona Norte: Palena (medio y bajo), Lago Verde, Figueroa, Rosselot/La Junta, Risopatrón, Puyuhuapi, Cisnes bajo, Cisnes medio, Cisnes alto, El Gato, Mañihuales, Picacho, Viviana, Aysén, Blanco/Caro, Emperador, Mano Negra, Ñirehuao, Coyhaique Alto, Baguales, Coyhaique bajo, El Claro, Valle Simpson, Castor-Pollux-Frío, Elizalde-Mogote-Balboa, Valle Laguna, El Blanco, Cerro Galera, Balmaceda, y Vista Hermosa.

Zona Sur: Bajada Ibáñez, Villa Castillo, Pto. Ibáñez, Río Ibáñez, Cajón-Cofré, Murta, Exploradores, Tranquilo-Bertrand, Guadal, Chile Chico, Ceballo-Jeinemeni, Baker, Maitén-Nef, Chacabuco, Cochrane, Lago Cochrane, San Lorenzo, Ñadis-Vargas, Tortel, y Villa O’Higgins.

Se usó interpretación de las imágenes aportadas para separar las ecorregiones por cada valle. Se consideraron aspectos relacionados con clima, vegetación y materiales generadores. Dentro de cada valle se identificaron los sitios más representativos, en base a experiencia local.

Los sitios seleccionados fueron verificados en terreno y se procedió a cavar calicatas de 1 m³ aproximadamente. En las calicatas se procedió a la descripción morfológica de los suelos por horizontes (Soil Survey Staff, 1992; 1993). Se describieron propiedades de los horizontes de los suelos incluyendo profundidad, textura al tacto, estructura, consistencia, color, raíces, y reacción con HCl y observaciones de lugar como pendiente, manejo actual, presencia de piedras superficiales, clase de erosión (Cuadro 4.1). La información colectada permitió definir la capacidad de uso de los suelos, y una clasificación taxonómica preliminar a nivel de orden y sub-orden. La información levantada en terreno, fue debidamente geo-referenciada.

Fecha y Autor:		Provincia y Lugar:		Longitud y Latitud:							
Nombre del Suelo:		Clasificación y Capacidad de Uso		Altura:	Pendiente:	Vegetación y/o Uso Actual:					
Geomorfología:		Posición: baja intermedia alta		Micro topografía y Aspecto: convexa concava lineal		N S E O	Riego: No	Clima:			
Material Generador:		Piedras y/o Rocas de Superficie		Erosión: Ninguna Leve Moderada Severa Muy Severa		Drenaje: XD BD MD ID PD MPD					
Descripción de Perfil											
Horiz	Prof	Color	Mojados	Textura	Cutanes	Estructura	Consistencia	Raíces	CaCO ₃	Límite	Varios
cm		Humedo / Seco	# Contraste Y	Aa A AL FAs FA FAL Fand F FL L Fa Fal s sf ant af grw cmet	# Contr. Ubic	Clase T Grado L Me Mo Sls+ Gr Fu	Mojado Humedo Seco OPg OPi S S LPg LPI MFr B Pg P P Fr LD MPg MPi Fi D Me MFi MD XFi XD	# Y	0 1 N HCl	Forma Tipo	
	H:			Aa A AL FAs FA FAL Fand F FL L Fa Fal s sf ant af grw cmet	0	Gr H De L Me Mo Sls+ Gr Fu	OPg OPi S S LPg LPI MFr B Pg P P Fr LD MPg MPi Fi D Me MFi MD XFi XD	0	0	L Ab O G I Q Gr D	
	S:			Aa A AL FAs FA FAL Fand F FL L Fa Fal s sf ant af grw cmet	0	Gr H De L Me Mo Sls+ Gr Fu	OPg OPi S S LPg LPI MFr B Pg P P Fr LD MPg MPi Fi D Me MFi MD XFi XD	0	0	L Ab O G I Q Gr D	
	H:			Aa A AL FAs FA FAL Fand F FL L Fa Fal s sf ant af grw cmet	0	Gr H De L Me Mo Sls+ Gr Fu	OPg OPi S S LPg LPI MFr B Pg P P Fr LD MPg MPi Fi D Me MFi MD XFi XD	0	0	L Ab O G I Q Gr D	
	S:			Aa A AL FAs FA FAL Fand F FL L Fa Fal s sf ant af grw cmet	0	Gr H De L Me Mo Sls+ Gr Fu	OPg OPi S S LPg LPI MFr B Pg P P Fr LD MPg MPi Fi D Me MFi MD XFi XD	0	0	L Ab O G I Q Gr D	
	H:			Aa A AL FAs FA FAL Fand F FL L Fa Fal s sf ant af grw cmet	0	Gr H De L Me Mo Sls+ Gr Fu	OPg OPi S S LPg LPI MFr B Pg P P Fr LD MPg MPi Fi D Me MFi MD XFi XD	0	0	L Ab O G I Q Gr D	
	S:			Aa A AL FAs FA FAL Fand F FL L Fa Fal s sf ant af grw cmet	0	Gr H De L Me Mo Sls+ Gr Fu	OPg OPi S S LPg LPI MFr B Pg P P Fr LD MPg MPi Fi D Me MFi MD XFi XD	0	0	L Ab O G I Q Gr D	
	H:			Aa A AL FAs FA FAL Fand F FL L Fa Fal s sf ant af grw cmet	0	Gr H De L Me Mo Sls+ Gr Fu	OPg OPi S S LPg LPI MFr B Pg P P Fr LD MPg MPi Fi D Me MFi MD XFi XD	0	0	L Ab O G I Q Gr D	
	S:			Aa A AL FAs FA FAL Fand F FL L Fa Fal s sf ant af grw cmet	0	Gr H De L Me Mo Sls+ Gr Fu	OPg OPi S S LPg LPI MFr B Pg P P Fr LD MPg MPi Fi D Me MFi MD XFi XD	0	0	L Ab O G I Q Gr D	

Cuadro 4.1. Formulario para describir suelos en el terreno.

Se sacaron muestras de suelos (2 kg por horizonte) para llevar al laboratorio para análisis de las propiedades físicas y químicas. Los análisis físicos incluyeron el contenido de agua a 33 y 1.500 kPa de tensión, densidad aparente, y textura; y los análisis químicos incluyeron pH, C y N total, capacidad de intercambio de cationes (CIC), porcentaje de saturación de bases (PSB), Al, Fe y Si extraíbles, etc. (Soil Survey Staff, 2014). Las propiedades medidas en el laboratorio y las descripciones morfológicas en las calicatas fueron utilizados para clasificar los suelos al nivel de la Familia (Soil Survey Staff, 2014). Las clasificaciones y descripciones de los suelos en las calicatas se compararon con descripciones de las Series de suelos reconocidas por CIREN (2005) para el proceso de correlación de los suelos y reconocimiento de nuevos suelos, y la información obtenida fue usada para crear mapas de suelos en sistemas de información geográfica (SIG).

SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

El suelo se define como una colección de cuerpos naturales, desarrollados a partir de material generador, mineral u orgánico, en la superficie inmediata de la tierra y que sirve como un medio natural para el crecimiento de las plantas. Sus propiedades se deben a las características específicas de relieve, clima, vegetación, material generador, y el tiempo que actúan estos factores para formar el suelo. Un aspecto sobresaliente de los suelos es su variabilidad, producto de las numerosas posibilidades de combinaciones de los factores formadores de suelo recién mencionados. Esta realidad ha impuesto la necesidad de desarrollar sistemas de clasificación que permiten hacer agrupaciones de suelos de acuerdo con sus características (Boul *et al.*, 2003; Stolpe, 2011). Cualquier sistema de clasificación persigue representar gráficamente las diferentes agrupaciones de suelos que existen en un lugar, mostrando en un plano sus ubicaciones geográficas y sus respectivas extensiones. En Chile, se ha usado dos sistemas para clasificar suelos que son la capacidad de uso y la taxonomía de suelos.

Capacidad de Uso

La clasificación técnica o interpretativa, como Capacidad de Uso, es una forma de agrupar suelos teniendo presente un objetivo bien determinado, desechando características no indispensables para el propósito que se persigue y dando información más general y comprensible para el usuario. El sistema de capacidad de uso tiene por propósito establecer las características más relevantes de un suelo, lo que permite decidir la combinación de cultivos y prácticas de conservación que posibiliten el uso intensivo de un terreno, sin riesgos de erosión. Las características más importantes que considera son la profundidad del suelo, sus texturas, porcentaje de pendiente y erosión pasada. Los suelos se agrupan en ocho clases, identificadas por números romanos, que expresan el grado creciente de limitaciones y riesgos que involucra el uso de un terreno. Las cuatro primeras categorías se asignan a suelos cultivables. Las restantes se refieren a terrenos que deben destinarse a praderas permanentes, forestales y vida silvestre, respectivamente (Cuadro 4.2).

En general, los mejores suelos en la región de Aysén son los de Clase III, que son adecuados para cultivos moderados, con manejo conservacionista, en rotación con praderas. Estos suelos no son comunes, pero se encuentran en algunos sectores de la cuenca del Lago General Carrera, como Chile Chico, Bahía Jara y Puerto Ibáñez en suelos de terrazas aluviales planas, sin problemas de drenaje o inundación (SERPLAC, 2005). Los suelos de clase IV tienen más limitaciones y deben ser usados solo para cultivos ocasionales, con medidas de conservación, en rotación con praderas. Estos suelos se encuentran en sectores de terrazas con pendientes suaves o plano con problemas leves de drenaje. Los suelos de Clase V son planos, pero no cultivables por problemas como drenaje, pedregosidad, inundaciones, o

profundidad. Estos suelos se encuentran en lugares como los “mallines” o “fachinales” pastoreables (SERPLAC, 2005). Los suelos de Clase VI tienen pendientes fuertes asociados con lomajes ondulados, y sirven para pastoreo moderado, con apropiada carga animal. Suelos de clase VII tienen pendientes muy fuertes, con alto riesgo de erosión, y son de aptitud forestal con manejo conservacionista. Suelos de Clase VIII pueden tener pendientes más fuertes, u otras limitaciones extremas como profundidad o pedregosidad, y son aptos sólo para vida silvestre o recreo, Se encuentran principalmente en altas cumbres, glaciares, roquerías, playas y mallines inundados.

CCU	CRITERIOS DE PRIMER ORDEN					Drenaje	CRITERIOS DE SEGUNDO ORDEN			CRITERIOS DE TERCER ORDEN		
	Pendiente		Profundidad	Pedregosidad y/o Roccosidad (%)			Textura	Pedregosidad (%)	Erosión	Intoxicación	Sociocidad Agrícola	Salinidad (ds/m)
	Simple	Compleja		Gravas	Medias							
I	<1	1 a <3	>90	<10	<5	Rel. Irregular a Drenaje Moderada	Fa y FA	<5	No aparente o Leve	Ninguna	<5	<2
II	<1 a <5	1 a <5	>70	<10	<5	Rel. Irregular a Drenaje Moderada	A y A	<15	No aparente a Ligera	Ninguna	<5	<2
III	<8	<8	>40	<20	<15	Rel. Irregular a Drenaje Imperfecto	e A	<35	No aparente a Moderado	Ninguna a Frecuente	<13	<4
IV	<15	<15	>20	<35	<40	Rel. Irregular a Imperfecto Irregular	g A	<35	No aparente a Moderada	Ninguna a Frecuente	<18	<8
V	<1	1 a <3	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Parcialmente Drenado a muy Parcialmente	g y A	Cualquiera	Cualquiera	Muy Frecuente	Cualquiera	Cualquiera
VI	<15	<75	>20	<85	<50	Drenaje Imperfecto a Características Drenado	g y A	<60	No aparente a Severa	Ninguna a Muy Frecuente	<28	<12
VII	<60	<60	Cualquiera	85 o más	50 o más	Drenaje Imperfecto a Características Drenado	g y P	Cualquiera	No aparente a Muy Severa	Ninguna a Muy Frecuente	e a >20	0 a >12
VIII	Cualquiera	Cualquiera	<20	85 o más	50 o más	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera

Cuadro 4.2. Clasificación de suelos de acuerdo con su Capacidad de Uso (SAG, 2011).

Taxonomía de Suelos

El sistema de taxonomía de suelos (Soil Survey Staff, 1975), una clasificación natural o taxonómica, ha sido reconocido internacionalmente sobre todo en países de América Latina y Asia, y revisado periódicamente por los años para incorporar nuevos conocimientos de los suelos en el mundo. En este sistema, primero se considera la presencia o ausencia de ciertos horizontes típicos y hace una detallada descripción morfológica de los horizontes de un perfil, de la geología y geomorfología del sector. La clasificación sigue un modelo jerárquico donde se agrupan suelos similares. El nivel más generalizado es el orden, seguido por los niveles de sub orden, gran grupo, subgrupo, familia y serie, que es más específico (Buol et al., 2003). La clasificación taxonómica de suelos facilita la comunicación entre especialistas, nacionales e internacionales, sobre características de los suelos para poder extender los resultados de investigaciones agropecuarias a otras regiones con suelos similares.

En general, se determina el “orden” de suelos en función de procesos formadores y la presencia o ausencia de horizontes diagnósticos. El nivel del “sub-orden” es una subdivisión de los órdenes, considerando la homogeneidad genética del suelo basada en clima, material generador etc. El nivel de “gran grupo” es una subdivisión de los sub-órdenes en función de horizontes diagnósticos y grado de desarrollo morfológico. El nivel del “sub-grupo” es una subdivisión del gran grupo, considerando si el suelo representa el concepto central de la categoría (típico) o tiene características de otros gran grupos (integrado) o propiedades aberrantes no encontrados en otros gran grupos (extra grado). Los nombres taxonómicos de suelos al nivel de familia incluyen otra información más específica relacionada con tamaño de partículas, mineralogía, temperatura del suelo etc. (Soil Survey Staff, 2014).

En el sistema, se clasifican los suelos desde el orden hasta la familia, siguiendo las claves del libro de taxonomía de suelos (Soil Survey Staff, 2014). El usuario deberá comenzar por el principio de la “clave para órdenes de suelo” (capítulo 4 de Soil Survey Staff) y eliminar, una por una, las clases con criterios que no son satisfechos por el suelo en cuestión. El suelo se ubicará dentro de la primera clase de orden listada cuando se cumplan todos los criterios requeridos. Después, el usuario irá sistemáticamente a través de la “clave para los sub órdenes”, dentro del capítulo de un orden identificado, para seleccionar el primero que reúna todos los criterios requeridos; y luego se clasifica el suelo con las claves correspondientes para los grandes grupos, y subgrupos. El nivel de familia se determina en forma similar, después de que el subgrupo se haya establecido.

Órdenes y Sub órdenes

En Chile, la mayor parte de los 12 órdenes de suelos (Entisols, Inceptisols, Andisols, Aridisols, Histosols, Gelisols, Mollisols, Vertisols, Alfisols, Ultisols, Spodosols, Oxisols) están presentes en una o más regiones, con la excepción de los Oxisoles que son suelos tropicales muy meteorizados (Soil Survey Staff, 2014). En este estudio, se identificaron en la Región de Aysén suelos de los órdenes Entisols, Inceptisols, Histosols, Mollisols, Andisols y Spodosols. A continuación se presentan descripciones breves de estos órdenes con los sub órdenes presentes en la región.

Orden Entisols (Suelos recientes con poco desarrollo morfológico).

Los sub órdenes en la región incluyen:

- Psamments: suelos recientes arenosos
- Aquents: suelos recientes con napa freática alta
- Orthents: otros suelos recientes

En la región de Aysén, los suelos del sub-orden Psamments se han desarrollado en arenas recién depositadas como dunas costeras (Figura 4.1) o planicies aluviales; tienen baja retención de humedad y son susceptibles a la erosión eólica. Los Aquepts son suelos de planicies aluviales, tienen una napa freática cerca de la superficie del suelo y alta susceptibilidad a inundaciones por desbordes de los ríos. Los Orthents se encuentran en lugares con pendientes fuertes, sujetos a erosión geológica.

En general, los suelos Entisols tienen menor grado de cubierta vegetal de praderas o rodales naturales, y poca materia orgánica en el horizonte superficial y baja fertilidad. Se describieron tres (3) suelos del Orden Entisols en la región.



Figura 4.1. Suelos recientes del Orden Entisols se encuentran en la Región en lugares como playas costeras con dunas y planicies aluviales.

Orden Inceptisols (suelos incipientes con leve desarrollo morfológico en el subsuelo, incluyendo formación de estructura, o color parduzco).

Los sub órdenes descritos en la región incluyen:

Aquepts: suelos incipientes con napa freática alta

Udepts: suelos incipientes de climas húmedos

Umbrepts: suelos incipientes con horizonte superficial oscuro con humus

Xerepts: suelos incipientes de climas xéricos (tipo mediterráneo)

En la región, los Aquepts se encuentran en lugares bajos y planos, como terrazas aluviales bajas con poca deposición de cenizas volcánicas, pero con una napa freática de poca profundidad. Los Udepts, Umbrepts y Xerepts se han formado en terrazas aluviales altas, o depósitos glaciales de lomajes y cerros con o sin una capa superficial delgada de cenizas volcánicas (Figura 4.2). Los Inceptisols en terrazas aluviales pueden ser usados para la producción de forraje o pastoreo intensivo, pero en sectores de pendientes moderados deben dedicarse a praderas con pastoreo moderado. En lugares de pendientes fuertes es recomendable mantener y conservar los bosques debido al mayor riesgo de erosión hídrica. Se describieron seis (6) suelos del Orden Inceptisols en la región.



Figura 4.2. Suelos del orden Inceptisols tienen algún grado de desarrollo morfológico y se encuentran en lomajes de depósitos glaciales o terrazas aluviales con deposiciones leves de cenizas volcánicas.

Orden Histosols: (suelos orgánicos que se han formado en restos vegetales incompletamente descompuestos, con o sin estratos de arena, limo o arcilla)

Los Sub Órdenes encontrados en la región incluyen:

Hemists: suelos orgánicos con fibras orgánicas moderadamente descompuestas

Saprists: suelos orgánicos con fibras orgánicas muy descompuestas

En la región, los suelos Histosols se encuentran principalmente en los sectores bajos y muy pobremente drenados, como los mallines y fachinales, que tienen una napa freática

superficial, o muy cerca de la superficie (Figura 4.3). Las propiedades iniciales de la materia orgánica (composición botánica, estratificación, grado de descomposición, contenido de madera, estratos de minerales, etc.) determinan el sub orden (Hemists o Saprist) y las posibilidades de uso. Estos suelos necesitan ser drenados, encalados y fertilizados (especialmente con micronutrientes) para permitir su uso agrícola. Sin embargo, es más recomendable protegerlos por su rol importante en procesos ecológicos. Se describieron dos (2) suelos del orden Histosols en la región.



Figura 4.3. Suelos orgánicos del orden Histosols se encuentran en sectores bajos, muy pobremente drenados, como los mallines y fachinales, con napa freática superficial.

Orden Mollisols: (suelos fértiles de estepas y praderas, con horizonte superficial pardo oscuro, y alto contenido de materia orgánica)

El sub orden descrito en la región incluye:

Xerolls: suelos de estepas y praderas de climas xéricos (tipo mediterráneo)

En la región, los suelos Mollisols se encuentran principalmente en las zonas orientales con el clima estepárico frío, dominadas por praderas naturales de pastos cortos (Figura 4.4). Los suelos se han formado generalmente en materiales generadores de cenizas volcánicas sobre depósitos glaciales y fluvio-glaciales en posiciones topográficas que varía desde terrazas aluviales hasta lomajes ondulados. El suelo superficial es oscuro con buen contenido

de materia orgánica y el subsuelo puede tener leve desarrollo de estructura y color hasta mayor desarrollo con estructura fuerte y acumulaciones de arcilla. Estos suelos son naturalmente fértiles, pero su potencial agrícola es limitado por la escasez estival de agua. El pastoreo extensivo es un buen uso para estos suelos, pero con manejo conservacionista, dado que son susceptibles a erosión hídrica y eólica. Se describieron ocho (8) suelos del Orden Mollisols en la región.



Figura 4.4. Suelos del orden Mollisols se encuentran principalmente en la en zonas orientales de la región con el clima estepárico frío, dominadas por vegetación de pastos cortos.

Orden Andisols: (suelos volcánicas con propiedades “ándicas”)

Los Sub Órdenes descritos en la región incluyen:

Udands: suelos volcánicos de climas húmedos

Xerands: suelos volcánicos de climas xéricos (tipo mediterráneo)

En la región de Aysén, los suelos Andisols se encuentran generalmente en áreas húmedas con depósitos moderadamente profundos a profundos de cenizas volcánicas, típicamente sobre terrazas aluviales, relativamente planos, y depósitos glaciales o fluvio-glaciales de lomajes ondulados (Figura 4.5). Estos suelos tienen “propiedades ándicas” que incluyen alto contenido de materia orgánica con complejos estables de órgano-minerales, minerales de

arcilla de bajo grado de ordenamiento como alofán, imogolita y ferrihidrita, alta fijación de fósforo, alto contenido de agua aprovechable y baja densidad aparente. Los suelos Andisols pueden tener un buen potencial para la producción agrícola, pero en la región son limitados en muchos sectores, generalmente, por el clima y pendientes pronunciadas.

Algunos sectores con suelos planos y profundos en micro climas más templados pueden ser usados para la producción de chacras. Los suelos con pendientes moderadas deben tener praderas permanentes, con manejo conservacionista, como pastoreo rotacional con apropiada carga animal, dado que son susceptibles a erosión hídrica y eólica. En sectores con pendientes más pronunciadas, se recomienda mantenerlos en bosques o sistemas silvopastorales. Se describieron treinta (30) suelos del Orden Andisols en la región.



Figura 4.5. Suelos volcánicos del orden Andisols generalmente se han desarrollados en áreas húmedas con depósitos profundos de cenizas volcánicas, sobre terrazas aluviales, depósitos glaciales y fluvio-glaciales.

Orden Spodosols: (suelos arenosos de bosques con acumulaciones de humus y óxidos de Fe y Al en subsuelo).

El Sub Orden encontrado en la Región incluye:

Orthods: suelos espódicos con acumulación de humus y óxidos de Fe y Al en subsuelo
En este estudio, un suelo de este orden fue descrito por primera vez en la región al este

de la zona de Villa O'Higgins (Figura 4.6). Los suelos Spodosols normalmente tienen un horizonte superficial orgánico delgado sobre un horizonte de color gris ceniza, que ha sido decolorado por pérdida de materia orgánica y óxidos de hierro, sobre un subsuelo de colores negro, rojizo y pardo donde se han acumulado humus iluvial, y óxidos de Fe y Al. Estos suelos se han formado en lomajes con depósitos glaciales, arenosos, de rocas silíceas, en la zona boreal húmeda fría, con vegetación de coigüe, lenga, chaura y helechos. El mejor uso de estos suelos es mantenerlos en bosques nativos, considerando la baja fertilidad del suelo, potencial toxicidad de aluminio y las limitaciones climáticas. Se describió un (1) suelo del orden Spodosols en la región.



Figura 4.6. Suelos del Orden Spodosols se encuentran en el sur de la región en zonas con mucha lluvia, debajo de bosques nativos sobre depósitos glaciales arenosos y gravosos.

Los suelos de cada suborden encontrado se clasificaron a los niveles de gran grupo, sub-grupo y familia. A continuación se presenta un resumen de la información que se encuentra en estos niveles de clasificación de los suelos de la región de Aysén.

Gran Grupo

Los nombres de grandes grupos de suelos se forman usando elementos formativos, puestos antes del nombre de sub-orden (Soil Survey Staff, 2014). Algunos elementos formativos al nivel de gran grupo en la región son:

- Agr – suelo con horizonte argílico (acumulación de arcilla) en el subsuelo
- Dystr – suelo con baja saturación de bases
- Endo – napa freática presente
- Fluv – suelo con depósitos aluviales e inundaciones
- Fulv – horizonte superficial oscuro, profundo, alto contenido de humus
- Hapl – suelo sencillo, generalmente subsuelo poco desarrollado
- Hem – materia orgánica moderadamente descompuesta (Histosols)
- Hum – suelo con alto contenido de humus
- Hydr – suelo hidratado, material “tixotrópico”
- Psamm – suelo mucha arena
- Ud – clima húmedo
- Ust – clima subhúmedo
- Vitr – suelo con > vidrio volcánico
- Xer – clima mediterráneo

Por ejemplo, un suelo del sub-orden Xerolls, con mayor contenido de arcilla en el subsuelo (horizonte argílico) que en la superficie pertenece al gran grupo Argixerolls.

Subgrupo

Los nombres de sub-grupos se forman usando elementos formativos (uno o más adjetivos) antes del nombre del gran grupo (Soil Survey Staff, 2014). Existen tres clases generales que incluyen los subgrupos “típicos, integrados y extragrados”. Los sub-grupos típicos (Typic), representan el concepto central del gran grupo nombrado. Los sub-grupos integrados son suelos con algunas características de otro tipo de suelo (orden, suborden o gran grupo). Los sub-grupos de extragrados son usados para referirse a propiedades que no son indicativas hacia otra clase conocida de suelo. Algunos elementos formativos al nivel sub-grupo en la región son:

- Typic – suelo (sub-grupo) que representa el concepto central del gran grupo
- Andic – suelo con solo algunas características del orden Andisols
- Aquandic – suelos con algunas características del sub-orden Aquands
- Mollic – suelo con algunas características de orden Mollisols
- Ultic – suelo con algunas características del orden Ultisols
- Vitrandic – suelo con algunas características de sub-orden Vitrands (Andisols con > vidrio volcánico)
- Acrudoxic – suelo de muy baja saturación de bases
- Aeríc – presencia de oxígeno en el subsuelo
- Aquic – suelo con problemas leves de drenaje
- Fibric – materia orgánica levemente descompuesta (Histosols)
- Humic – suelo con horizonte superficial oscuro, pero baja saturación de bases
- Lithic – suelo de poca profundidad sobre rocas
- Oxyaquic – suelo con problemas leves de drenaje pero oxigenado en subsuelo
- Terric – suelo orgánico (Histosol) con algunos estratos minerales presentes
- Thaptic – suelo superficial enterrado (por cenizas volcánicas)
- Vitric – suelo con > vidrio volcánico

Por ejemplo, un suelo del gran grupo Hapludands con algunos problemas leves de drenaje tiene el Subgrupo de Aquic Hapludands.

Familias

Los nombres de Familias de suelos son técnicos y descriptivos (Cuadro 4. 3) y consisten en el nombre del sub-grupo y otros adjetivos descriptivos (Soil Survey Staff, 2014) que pueden incluir, entre otros:

Clases de tamaño de partículas y sus substitutos (en sección de control del subsuelo)

- Ashy – suelo volcánico, generalmente cenizas gruesas
- Ashy pumaceous – suelo volcánico, generalmente cenizas gruesas con pómez
- Medial – suelo volcánico, generalmente cenizas medias
- Clayey – arcillosa
- Coarse loamy – texturas francosas gruesas
- Fine loamy – texturas francosas finas
- Fine – texturas finas
- Loamy skeletal – texturas francosas con grava o piedras
- Sandy skeletal – texturas arenosas con grava o piedras

Clases de mineralogía (en sección de control del sub-suelo):

- Amorphic – suelos volcánicos, “arcilla amorfa” como alofán
- Glassy – suelos volcánicos, con > vidrio volcánico
- Mixed – mineralogía mezclada
- Smectitic – minerales esmécticos (montmorillonita, beidelita y nontronita)

Clases de actividad de intercambio catiónico (en sección de control del subsuelo), usadas con mineralogía mezclada (razón de CIC/% arcilla):

- Active – 0.4–0.6
- Superactive – > 0.6

Clases de temperatura del suelo (a 50 cm de profundidad del suelo)

- Frigid – temperatura media < 8°C (ecorregiones orientales más frías)
- Mesic – temperatura media de 8–15°C (el resto de las ecorregiones)

Clases de reacción o pH (Histosols):

- Euic – pH 4.5 o más
- Dysic – pH < 4.5

Serie

Finalmente, la función de la serie es pragmática y las diferencias dentro de una familia que afectan el uso de un suelo se deben de considerar en la clasificación de series de suelo. La separación de suelos a nivel de Series de esta taxonomía puede estar basada sobre cualquier propiedad que se use como criterio a niveles altos en el sistema.

Los criterios comúnmente empleados incluyen la presencia de: profundidad, espesor y expresión de horizontes y propiedades de diagnóstico para las categorías más altas y diferencias en textura, mineralogía, humedad del suelo, temperatura del suelo y cantidades de materia orgánica (Soil Survey Staff, 2014). Los nombres de Series son abstractos y típicamente determinados por el lugar geográfico donde se describió el suelo por primera vez o donde se encuentra muy extendido. Por ejemplo, un nombre de Serie de suelo es “Lago Verde”.

El cuadro 4.3 presenta las familias de suelo correspondientes a cada uno de los puntos descritos (los números corresponden a su localización en la plataforma web):

N° Suelo	Familia	Orden
<i>Entisols (3)</i>		
401	Mixed, active, frigid Aquic Udipsamments	
424	Fine loamy, mixed, active, mesic, Aeric Endoaquents	
704	Mixed, superactive, mesic Typic Udipsamments	
<i>Inceptisols (6)</i>		
412	Coarse loamy, mixed, active, acid, frigid Aquandic Humaquepts	
416	Coarse loamy, mixed, active, mesic Typic Dystrudepts	
433	Fine, mixed, active frigid Aquic Haploxerepts	
435	Coarse loamy, mixed, superactive, mesic Aquic Humixerepts	
506	Ashy pumaceous over medial, amorphous, mesic, Andic Oxyaquic Dystrudepts	
622	Fine, smectitic, frigid Vitrandic Humixerepts	
<i>Histosols (2)</i>		
413	Coarse loamy, mixed, active, dysic, frigid, Terric Haplosaprists	
604	Euic, mesic Fibric Haplohemists	
<i>Mollisols (8)</i>		
419	Coarse loamy over sandy skeletal, mixed, superactive, frigid Vitrandic Haploxerolls	
420	Coarse loamy, mixed, superactive, frigid Lithic Haploxerolls	
439	Fine, smectitic, frigid Ultic Argixerolls	
441	Coarse loamy, mixed, superactive, mesic Vitrandic Haploxerolls	
508	Coarse loamy, mixed, superactive, frigid Andic Haploxerolls	
509	Coarse loamy, mixed, superactive, mesic Vitrandic Haploxerolls	
514	Fine loamy, mixed, active, frigid Vitrandic Haploxerolls	
611	Fine loamy, mixed, superactive, frigid, Vitrandic Argixerolls	
<i>Andisols (30)</i>		
404	Medial, mixed, superactive, frigid Oxyaquic Hapludands	
408	Medial, glassy, frigid Typic Hapludands	
414	Medial, mixed, active, mesic Acrudoxic Hapludands	
418	Medial, amorphous, frigid Lithic Hapludands	
426	Medial, amorphous, frigid Humic Haploxerands	
430	Medial, amorphous, frigid Lithic Haploxerands	
445	Medial, amorphous, mesic Typic Hapludands	
501	Medial over sandy skeletal, ferrihydritic, mesic, Oxyaquic Hapludands	
502	Medial over sandy skeletal, mixed, superactive, mesic Acrudoxic Hapludands	
503	Medial, amorphous, mesic Oxyaquic Fulvudands	
504	Ashy, mixed, superactive, mesic Acrudoxic Hapludands	
507	Medial, amorphous, mesic Vitric Hapludands	

510	Medial, amorphic, frigid Vitric Hapludands
511	Medial, amorphic, frigid Typic Hapludands
515	Medial, amorphic, frigid Typic Hapludands
516	Medial, amorphic, frigid Oxyaquic Hapludands
517	Medial, amorphic, frigid Oxyaquic Hapludands
518	Medial, amorphic, mesic Oxyaquic Hapludands
519	Medial, amorphic, mesic Typic Hapludands
520	Medial over loamy skeletal, amorphic, mesic Oxyaquic Hapludands
521	Medial over clayey, amorphic, frigid Aquic Hapludands
522	Medial, amorphic, frigid Oxyaquic Hapludands
602	Medial, amorphic, mesic Oxyaquic Fulvudands
606	Medial, amorphic, frigid Oxyaquic Hapludands
616	Medial, amorphic frigid Typic Hapludands
620	Medial, amorphic, frigid Lithic Hapludands
625	Medial, amorphic, mesic Acrudoxic Fulvudands
702	Medial, amorphic, mesic Oxyaquic Hapludands
707	Medial, amorphic, mesic Aquic Hapludands
709	Ashy, amorphic, mesic Acrudoxic Fulvudands
<i>Spodosols (1)</i>	
406	Coarse loamy, mixed, superactive, frigid Andic Haplorthods

Cuadro 4.3. Resumen de las Familias de suelos que fueron descritos en este estudio en los valles de interés agropecuario de la Región de Aysén.

RESUMEN DE LOS SUELOS EN EL SUR DE LA REGIÓN DE AYSÉN

Al sur de la región de Aysén, considerando como referencia la localidad de Villa O'Higgins, en la posición de planicies se encuentran suelos recientes arenosos de origen aluvial de los sub-órdenes Psamments y Aquepts. En los depósitos glaciales de textura gruesa se presentan suelos Spodosols (Suborden Orthods), sin embargo, los suelos de depósitos glaciales de textura más fina se clasificarían dentro de los Inceptisols (Suborden Udepts). Sobre gran parte del paisaje se encuentran cenizas volcánicas cubriendo terrazas aluviales, sobre depósitos aluviales, y en sectores de pendientes por encima de los depósitos glaciales. Estos suelos volcánicos pertenecen generalmente en el Orden Andisols (suborden Udands).

En los sectores bajos de terrazas (cercanos a Caleta Tortel) se encuentran suelos Histosols (Suborden Sapristis) e Inceptisols (Aquepts). El régimen de humedad en el sector y para zonas más al sur es Udic a Perudic (alta pluviometría en todos los meses). Para los sectores Explorados el régimen de temperatura es generalmente frígido, y relacionado con la ecorregión andina boreal húmeda fría.

En el sector de Cochrane se encuentran suelos formados a partir de depósitos glaciales que se clasifican en el sub-orden Udepts, pero, cuando estos suelos presentan pendientes más fuertes (\geq clase VII de capacidad de uso) pueden ser considerados como Entisols (Orthents). Gran parte de la superficie se encuentra cubierta por cenizas volcánicas, las cuales, han enterrado los depósitos glaciales subyacentes. Estos Andisols tienen el sub-orden Udands y generalmente son profundos, pero en algunos sectores las cenizas volcánicas tienen poca profundidad limitando con rocas metamórficas y son clasificados como Lithic Hapludands. El régimen de temperatura es generalmente Mesic, y el régimen de humedad es Udic que pasa a ser Frigid y Xeric en algunos valles adyacentes donde se presentan suelos Mollisols (Suborden Xerolls).

Hacia Chile Chico empiezan a prevalecer condiciones xéricas con régimen de temperatura Mesic. Los suelos volcánicos se clasifican como Xerands pero encontrándose un predominio de suelos Mollisols (Suborden Xerolls). En los valles y terrazas intermedias se dan las condiciones necesarias (menor lixiviación de bases con deposiciones periódicas de cenizas volcánicas) para la formación de arcillas esmectíticas en los suelos Inceptisols (Subordenes Aquepts y Xerepts). Llegando a Chile Chico, se encuentran principalmente suelos de los Ordenes Mollisols e Inceptisols, dependiendo del porcentaje de saturación de bases en el horizonte superficial. Depositiones de cenizas volcánicas, una vez incorporadas en la capa superficial por labranza, pueden bajar levemente el porcentaje saturación de bases, significando que el epipedon llega a ser Umbric (no Mollic), y el Orden del suelo cambie desde Mollisols a Inceptisols.

Varios kilómetros al sur de Chile Chico hacia el sector de Jeinimeni, bordeando el límite fronterizo con Argentina, existen suelos Mollisols (Suborden Xerolls), y en posiciones altas y estables que tiene la presencia de horizontes argílicos en el subsuelo (gran grupo Argixeroll). Cuando el horizonte argillic no está presente en el subsuelo, pero si un horizonte cambic, los suelos se clasificarían como Haploxerolls. Saliendo de la zona de Chile Chico hacia Puerto Guadal en los valles con clima más húmedo se puede encontrar nuevamente suelos volcánicos del sub-orden Udands.

RESUMEN DE LOS SUELOS EN EL CENTRO SUR DE LA REGIÓN DE AYSÉN

En el sector de Puerto Tranquilo camino a Bahía Exploradores, los principales suelos son de origen volcánico (Suborden Udands) que se han formado a partir de cenizas volcánicas sobre sedimentos fluvio-glaciales o aluviales en el valle del río Engaño. En sectores de pendientes fuertes, el espesor de las cenizas disminuye encontrándose suelos muy delgados de cenizas volcánicas sobre rocas metamórficas, similar a lo descrito en el sector de Cochrane, más al sur. Algunos suelos formados en depósitos glaciales gruesos son Udepts y tienen colores débiles de podzolización. En algunas áreas de planicies aluviales muy recientes los suelos son Psamments, con poca profundidad y desarrollo del horizonte superficial, el cual se encuentra sobre arenas, gravas y rocas redondeadas. Las capacidades de uso de los suelos varían entre IV, VI y VII, dependiendo principalmente de la pendiente del terreno.

Saliendo de la zona de Puerto Tranquilo-Murta, los suelos volcánicos son principalmente del Suborden Udands que tienen, en algunos sectores (Río Cajón-Cerro Castillo), una capa superficial reciente (1991) de cenizas volcánicas que puede llegar hasta 50 cm de profundidad. Las capacidades de uso de estos suelos son de III hasta VII.

Cerca de Puerto Ibáñez (bajada) se encuentran suelos Mollisols (Suborden Xerolls), de acuerdo al porcentaje de saturación de bases, que han desarrollado en las cenizas volcánicas sobre depósitos fluvio-glaciales. En Puerto Ibáñez, en un huerto de manzanos se describió un suelo (gran grupo Haploxerolls) que es muy parecido a otro descrito en Chile Chico (Bahía Jara) en un huerto de cerezos. Estos suelos se han formado en clima xérico a partir de cenizas volcánicas de un espesor de un metro o más sobre sedimentos aluviales lacustres de gravas y piedras redondeadas. Las capacidades de uso en este sector son de III, IV y VI.

En el sector de Balmaceda existen condiciones relativamente secas que favorecen la formación de Xerolls en suelos bien drenados (gran grupo Haploxerolls). En posiciones bajas con problemas de drenaje se encuentran suelos Inceptisols (Gran Grupo Haplaquepts). En general en el sector de Balmaceda CIREN (2005) tiene descrito la Serie Portezuelo (Humic Dystrudepts) que es profundo, bien drenado, en posición de terrazas aluviales antiguas,

con substrato constituido por gravas con diferente grado de meteorización. Dicha descripción representa lo que se observó en el sector, pero el porcentaje saturación de bases en la descripción de CIREN está muy cerca del límite del Orden Mollisols. Las Capacidades de Uso de los suelos son de IV y VI.

En el cerro Galera se encontró un suelo volcánico profundo (Suborden Udands). Llegando a la zona de INIA-Tamal Aike, en Alto Valle Simpson, la ceniza volcánica es muy profunda sobre los depósitos fluvio glaciales, y el perfil (Udands) efectivamente mostró dos suelos volcánicos, uno sobre el otro. Probablemente, desde el fin de la última glaciación, hubo dos eventos importantes de deposiciones de cenizas volcánicas, con suficiente tiempo entre ellas para permitir el desarrollo de un suelo que sería enterrado eventualmente por la siguiente deposición. En el sector Lago Paloma se encontró otro suelo volcánico con similares características; pero en Seis Lagunas el suelo volcánico (Udands) fue de menor profundidad sobre depósitos fluvio-glaciales, pero igualmente con un suelo volcánico enterrado a los 44 cm de profundidad. Generalmente, suelos de mayor pendiente tienen horizontes superficiales (Horizonte A) de menor profundidad, y menor profundidad del solum (horizontes A+B) a los depósitos glaciales y fluvio-glaciales. Un ejemplo de lo anterior se encuentra en el sector El Claro donde se describió un suelo volcánico (Udands) de pendiente >15%, con horizonte A delgado y profundidad moderada a depósitos glaciales. Las clases de Capacidad de Uso de estos suelos son de III, IV y VI.

En el sector de Lago Elizalde se describió un suelo volcánico (Udand) con clase VI de Capacidad de Uso, y debajo de este suelo hubo otro suelo volcánico enterrado. El suelo podría ser clasificado al subgrupo Thaptic Hapludands, pero la clave taxonómica de Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014) da preferencia al Subgrupo Oxyaquic Hapludands. Cerca del lago Atravesados y valle Lagunas se encuentran suelos similares pero con pendientes más fuertes y más susceptibles a erosionarse debido a sobre pastoreo (clase VII de Capacidad de Uso).

En las cercanías de Coyhaique específicamente en la subestación de INIA-INFOR-Universidad Austral, en el sector Coyhaique Bajo, se describió un suelo que tiene algunas características de Mollisol (colores oscuros) formado de cenizas volcánicas sobre depósitos fluvial glaciales arcillosos, en la posición de una terraza fluvio-glacial alta, con exposición norte, expuesto al viento. Sin embargo, de acuerdo con los análisis del laboratorio, este suelo se clasifica como un suelo volcánico (Udands) pero con saturación de bases levemente elevada para ese orden. Cerro arriba del sitio donde se describió el suelo, son visibles rocas de origen basáltico. Es posible que estos factores den condiciones más secas que podrían favorecer la formación de Mollisols, especialmente cuando hay rocas basálticas cercanas que proveen bases al material generador del suelo. Típicamente los Mollisols se desarrollan en ambientes más secos de la Patagonia, cercanos a la frontera con Argentina, y Andisols en los valles más húmedos. Este suelo sería representante de sectores de transición entre los extremos de clima en esta latitud, y corresponde a la clase IV de Capacidad de Uso.

En el sector Mano Negra, al norte de Coyhaique, el suelo volcánico (Udands) se ha formado a partir de cenizas volcánicas profundas sobre depósitos fluvio-glaciales. El perfil muestra un suelo volcánico enterrado a los 93 cm de profundidad y una lámina delgada de carbón (0,5 cm espesor) en el horizonte superficial que varía desde 10 a 20 cm de profundidad de la superficie. Dicha lámina es evidencia de una quema o incendio forestal, que dejó el suelo descubierto sujeto a erosión. Algunos perfiles observados al fondo de la ladera, muestran sedimentos superficiales de color pardo claro, los cuales, son producto de procesos erosivos desde los sectores más altos que luego fueron depositados encima de la lámina de carbón. El suelo presenta clase VI de Capacidad de Uso.

RESUMEN DE LOS SUELOS EN EL NORTE DE LA XI REGIÓN

En general, las tendencias que fueron notadas en las campañas anteriores de terreno fueron observadas nuevamente en las zonas visitadas al norte de Coyhaique, entre la costa (Puerto Aysén y Puerto Cisnes) hasta la frontera con Argentina. Es decir, Udands (Andisolls) se encuentran en los sectores más húmedos y Xerolls (Mollisolls) en las zonas con menos lluvia y mayor elevación sobre el nivel del mar.

Más específicamente, en el Valle Pangal, se observó que los suelos descritos por CIREN cuadraron bien con los suelos visitados en el terreno, y suelos de la Serie Los Torreones, y se clasifican como Udands. En los valles se notaron diferencias leves de drenaje (moderado, imperfecto y pobre), como ha sido descrito para las fases de la Serie Los Torreones. Cerca de Puerto Aysén, se describió un suelo orgánico muy pobremente drenado que se clasifica como Hemist.

Viajando hacia la frontera con Argentina, la precipitación y temperatura van disminuyendo y los suelos dominantes cambian hacia Udepts (Serie Ñirehuao) y Xerepts (Serie Puesto Viejo) que no pueden ser clasificados como Mollisols (aunque tienen colores oscuros en la superficie) debido al bajo porcentaje saturación de bases (<50%). Se encuentran los Mollisols también, que han desarrollado horizontes arcillosos "argílicos" en el subsuelo (Bt). Estos últimos suelos se encuentran en posiciones altas y estables del paisaje y también en los sectores bajos y planos con problemas de drenaje. Se clasifican como Vitrandic Argixerolls y Aquic Argixerolls, respectivamente. Las arcillas en los horizontes Bt son de difícil dispersión en el laboratorio, debido a la influencia de cenizas volcánicas.

Regresando hacia la zona más húmeda de El Gato, hay suelos volcánicos (Udands) con menor profundidad sobre depósitos fluvio-glaciales. Estos suelos son de clase VI de Capacidad de Uso, pero algunos han sido erosionados en sectores con sobrepastoreo, principalmente por ovejas. En los sectores más erosionados se encuentran los depósitos fluvio glaciales expuestos en la superficie, suelos que ahora se clasifican como Orthents y clase VIII de capacidad de uso.

En la zona de Emperador Guillermo, los suelos volcánicos (Udands) observados cuadran bien con la descripción de la serie Villa Ortega, de CIREN (2005), y son similares a lo que se describió cerca de Mano Negra. El suelo descrito como la serie Mañihuales también representa bien los suelos que se encuentran en el sector con el mismo nombre. Sin embargo, aunque el suelo ha sido clasificado por CIREN (2005) como Thaptic Hapludands, en la nueva versión de Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014) sería clasificado como Acrudoxic Hapludands debido al bajo porcentaje de saturación de bases comparada con la serie Villa Ortega. El sector Mañihuales tiene alrededor de 600 mm de precipitación más que el sector de Villa Ortega, razón de la disminución de saturación de bases en el suelo asociada con mayor lixiviación del perfil.

En general, en a la zona de La Zaranda - Las Torres, la profundidad de las cenizas volcánicas va disminuyendo sobre los depósitos fluvio-glaciales, y en sectores con mayores pendientes aparecen Orthents con muy poca profundidad de cenizas sobre rocas y depósitos glaciales. Estos últimos suelos tienen clase VIII de Capacidad de Uso. Se describió un suelo volcánico de menor profundidad (Lithic Hapludand) en la zona de Puente Torcaza que tiene clase VII de capacidad de uso.

En el camino a Alto Cisnes, se encuentran condiciones climáticas más frías y secas, y los suelos son Inceptisoles y Mollisols. Se describió un suelo oscuro pero con saturación de bases levemente baja que se clasifica como un Xerept. Aunque el clima debería favorecer la formación de Mollisols (Xerolls), es probable que deposiciones recientes de cenizas volcánicas de carácter ácido hayan bajado el porcentaje saturación de bases del suelo, lo que implica que el suelo se clasifica ahora como Inceptisols. Este suelo tiene grietas superficiales que indican la presencia de mayor contenido de arcillas tipo 2:1 expansibles (arcillas esmectíticas), y tiene capacidad de uso de IV a VI, dependiendo de la pendiente.

En la zona de Puerto Cisnes se encuentra el suelo Queulat, que es un suelo volcánico con colores superficiales oscuros y rojos con mayor profundidad. Dicho suelo se extiende hasta la costa donde se describió otro perfil para comparar con la descripción de CIREN de un suelo ubicado más lejos del mar. El suelo descrito tiene muy baja saturación de bases, y se clasifica como Oxyaquic Fulvudands, pero puede ser considerado como una fase de la serie Queulat. Las clases de capacidades de uso son VI y VII, dependiendo de la pendiente.

En el extremo norte de la Región de Aysén, las series Pangue y La Junta (Udands), descritos por CIREN (2005), generalmente representan los suelos en esta parte de la región. En la zona del acceso sur de La Junta se encuentran otros suelos con pendientes suaves que han formado sobre abanicos aluviales. Aunque estos suelos muestran algunas estratificaciones aluviales, tienen suficiente cenizas volcánicas en sus perfiles para clasificarse como Udands. Estos suelos tienen clases de capacidades de uso de IV a VI, dependiendo de la pendiente. Cerca de la costa en Puerto Marín Balmaceda, se encuentran suelos arenosos

en dunas costeras, cubiertas con vegetación matorral que se clasifican como Psamments, con clase de capacidad de uso VIII.

En los lugares planos y de pendientes suaves en los valles de La Junta, se han desarrollado suelos volcánicos profundos y oscuros que son clasificados como gran grupo Fulvudands. Sin embargo, cerca de lago Rosselot las cenizas tienen características más gruesas (ashy en vez de medial) que cambia levemente la clasificación a nivel de la familia. Estos suelos tienen clases de capacidad de uso de III a VI, de acuerdo con la pendiente. En la zona de Lago Verde, los suelos son bien representados por la serie del mismo nombre, y son suelos moderadamente profundos sobre depósitos glaciales, con clases IV a VI de capacidad de uso.

VARIABILIDAD DE DISTRIBUCIÓN DE SUELOS

La distribución de suelos cambia entre las ecorregiones e incluso entre valles adyacentes de acuerdo con variaciones de los microclimas que influyen la formación de los suelos. A menudo, los suelos varían en distancias más cortas dentro de los valles, como en una terraza aluvial o una ladera donde existe variabilidad de profundidad de cenizas volcánicas sobre depósitos aluviales o

fluvio-glaciales, respectivamente. Estas variaciones pueden afectar las clasificaciones de suelos adyacentes en un sector con el resultado que los mapas de suelos tienen unidades con inclusiones de suelos similares y disimilares a la serie mapeada. Por eso, cuando el patrón de distribución de suelos es muy heterogéneo, variable y difícil separar en una escala de trabajo, es necesario hacer mapas de asociaciones de diferentes series de suelos (Boul *et al.*, 2003).

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

Boul, S.W., R.J. Southard, R.C. Graham, y P.A. McDaniel. 2003. Soil Genesis and Classification, 5th edition. Ames, IA, Iowa State Press. 494 p.

CIREN. 2005. Publicación Ciren Nº 130, Estudio Agrológico XI Región. Ciren Corfo, Centro de Información de Recursos Naturales, Santiago, Chile. 126 p.

CIREN. 2010. Determinación de la Erosión Actual y Potencial del Territorio de Chile. Centro de Información de Recursos Naturales, Santiago, Chile.

IGM. 2005. Atlas Geográfico. Instituto Geográfico Militar de Chile. Santiago, Chile. 208 p.

IREN. 1979. Perspectivas de Desarrollo de los Recursos de la Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, Tomos I y II. Instituto nacional de Investigación de Recursos Naturales. Santiago, Chile.

Morgan, R.P.C. 2005. Soil Erosion and Conservation. Blackwell Publishing. Oxford, UK.

SAG. 2011. Pauta para Determinar la Capacidad de Uso de Suelo. Servicio Agrícola Ganadero. Santiago, Chile. 20 p.

SERPLAC. 2005. Atlas Región de Aysén. Servicio de Planificación y Coordinación y Gobierno Regional de Aysén. Santiago, Chile. 43 p.

Soil Survey Staff. 1975. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. US Department of Agriculture, Soil Conservation Service. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

Soil Survey Staff. 1992. Procedures for Collecting Soil Samples and Methods of Analysis for Soil Survey. Soil Conservation Service, USDA, Washington, DC.

Soil Survey Staff. 1993. Soil Survey Manual, Handbook Nº 18. Soil Conservation Service, USDA, Washington, DC.

Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th Edition. United States Department of Agriculture (USDA). Washington, DC. 360 p.

Stolpe. 2011. Conservación de Suelos, Segunda Edición. Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Universidad de Concepción. Chillán, Chile.

5. FERTILIDAD QUÍMICA DE LOS SUELOS DE LA REGIÓN DE AYSÉN

Christian Hepp K.

Centro Regional de Investigación INIA Tamel Aike
Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Coyhaique, Región de Aysén, Patagonia Occidental

INTRODUCCIÓN

Las características de los suelos de una región son la consecuencia del material generador, del clima predominante, de las características del relieve donde se ubican y de la vegetación existente. Junto a los factores señalados, el tiempo transcurrido es fundamental, ya que los procesos de formación de un suelo son muy lentos. De esta forma, un mismo material generador puede dar origen a suelos diferentes si los demás factores se modifican. Ello hace que exista variabilidad en los componentes de los suelos, por ejemplo según su ubicación dentro de un mismo valle. Los suelos de sectores altos y escarpados serán diferentes a aquellos ubicados en la base plana del mismo valle. En cada caso han ocurrido procesos que van modificando el suelo, tanto en aspectos físicos como también químicos. Existe una interrelación entre los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo, que finalmente define sus características. Debe considerarse que estas características de los suelos son dinámicas y sujetas a cambios, tanto naturales como por factores de utilización y manejo.

En la región de Aysén, como se ha visto en capítulos anteriores, existe una enorme variabilidad climática, definida por regímenes térmicos y pluviométricos en sentido norte-sur y especialmente este-oeste. Tanto las temperaturas como la precipitación son factores que influyen en los procesos que definen las características químicas de los suelos, ya que actúan sobre componentes básicos, como el material generador (por ejemplo las cenizas volcánicas) y la cubierta de vegetación (bosque, matorral, pradera, etc.).

En este capítulo se pretende abarcar algunos aspectos más relevantes de las características químicas de los principales suelos de la región de Aysén.

LOS INICIOS

Para referirse al status químico de los suelos de Aysén, es conveniente conocer parte de la historia reciente, que tuvo efectos muy importantes en la definición de las características de los suelos de las diferentes zonas, tal cual las conocemos hoy.

La región de Aysén es la zona del país de más reciente colonización y, hasta casi fines del siglo XIX prácticamente no tenía población establecida. La totalidad de su superficie, salvo los planos orientales con pastizales de coirón en la estepa, estaba cubierta de bosque nativo. Ello incluía el bosque siempreverde mixto de la zona occidental, de alta pluviometría, y el bosque caducifolio de lenga (y eventualmente ñirre) de la vertiente oriental de los Andes.

A fines del siglo XIX y durante las primeras décadas del siglo XX se inicia un proceso de colonización que abarca fundamentalmente las zonas más orientales de Aysén, en que se incorpora el ganado ovino y posteriormente el bovino, para utilizar en primera instancia los pastizales de coirón de la zona de estepa. Producto de políticas centrales de colonización, de la presión de ocupación y de la falta de planificación y control, se empiezan a habilitar grandes extensiones mediante el uso de fuego, el cual resulta difícil de controlar con las condiciones climáticas imperantes en la zona, y con ello se remueven finalmente cerca de tres millones de hectáreas de bosque nativo. Las zonas orientales de bosque caducifolio son las más afectadas, aunque hay amplios sectores de bosque siempreverde también quemado.

El fuego tiene consecuencias significativas sobre los ecosistemas, efectos de corto plazo y otros de más largo plazo. En el corto plazo, se remueve gran parte de la materia orgánica de la vegetación y se libera una gran cantidad de nutrientes, como calcio, magnesio, potasio, nitrógeno, fósforo, azufre, entre otros. Parte de los nutrientes pueden perderse durante el incendio en forma de gases, pero una proporción mayor quedará en el terreno. Muchos de estos nutrientes están en formas químicas simples y altamente móviles y disponibles. En el corto plazo, el suelo verá incrementada su fertilidad natural, con el aporte de los nutrientes procedentes del incendio. Por este motivo, se tuvieron establecimientos relativamente exitosos de praderas en muchos sectores, con la incorporación de especies foráneas como el pasto ovilla y el trébol blanco.

Sin embargo, en el mediano y largo plazo, los efectos son muy negativos. Al estar los nutrientes en formas muy móviles, se pierden con facilidad desde la capa superficial del suelo por escurrimiento superficial, el que se ve aumentado por la menor protección de cobertura vegetal, además de que aumenta la erosión hídrica y eólica al no existir una cubierta protectora. También las pérdidas por lixiviación son incrementadas respecto de zonas con vegetación, al favorecerse el movimiento vertical de formas solubles de nutrientes (nitrato, amonio, sulfato, bases). Muchas veces, el incendio no solamente quemó la vegetación arbórea y arbustiva, sino que también parte de la materia orgánica del suelo, con lo que hay una pérdida neta de potencial de mineralización en el mediano plazo.

Varias décadas de pérdidas de nutrientes de esta forma redundan finalmente en suelos de menor fertilidad y con serias deficiencias de algunos nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, bases de intercambio, etc.). Otra consecuencia para muchas zonas afectadas fue la permanencia de enormes extensiones de palizadas muertas como testigos del desastre.

Los primeros trabajos que analizaron muestras de suelo de diferentes zonas de la entonces provincia de Aysén datan de la década del setenta, en que el INIA encontró que la limitante nutricional más importante de dichos suelos era el fósforo y que la fertilización nitrogenada debía incluir fósforo para tener respuestas productivas. Las mejores respuestas a la aplicación de nitrógeno y fósforo la encontraron en suelos con mayores niveles de potasio, azufre y micronutrientes. Trabajos posteriores del INIA muestran que la deficiencia de azufre es generalizada y que, particularmente en la zona intermedia, es éste y no el fósforo el nutriente mineral más deficitario en los suelos, como se verá más adelante.

DEFINICIÓN DE VALLES DE INTERÉS AGROPECUARIO

En la región de Aysén se han definido 68 valles de interés agropecuario, que presentan mayor o menor potencial productivo, especialmente ganadero. Ellos se distribuyen a través de toda la región, con especial concentración en la zona central de Aysén, donde se reúne la mayor cantidad de suelos de mejor calidad. A través del presente proyecto se desarrolló una red de puntos de muestreo en gran parte de los valles indicados, donde se realizaron determinaciones de parámetros de fertilidad de los suelos. Las características de los valles en particular se tratan en una publicación aparte, mientras que aspectos específicos también se encuentran en una plataforma web del proyecto (<http://aysensig.inia.cl>), de acceso público y gratuito.

CARACTERIZACIÓN DE LA FERTILIDAD QUÍMICA DE LOS SUELOS DE AYSÉN

Alrededor del 96% de la materia seca de los tejidos vegetales está compuesta por tres elementos químicos: carbono, hidrógeno y oxígeno. Los tres se encuentran disponibles en el aire y el agua y son fundamentales para sintetizar la materia orgánica en el proceso de fotosíntesis. Existen otros 14 elementos químicos (nutrientes), que sólo representan cerca del 4% de la materia seca vegetal, pero que son esenciales y deben ser absorbidos desde el suelo por el sistema radicular. La deficiencia de cualquiera de dichos elementos nutrientes tiene efectos en reducir el crecimiento y desarrollo vegetal, que en agricultura implica disminuir la producción. El contenido mineral de los tejidos vegetales es variable y depende del tipo de planta (especie), clima, composición química del suelo, de la edad de los tejidos, entre otros.

Antecedentes generales de fertilidad de suelos por zonas

El Centro de Investigación INIA Tamel Aike ha procesado en su laboratorio una gran cantidad de muestras de suelo provenientes de diferentes zonas de la región. Esta información fue digitalizada y ordenada, además de realizarse un análisis de calidad de los datos. Se eliminaron datos aberrantes y los promedios indicados excluyen el 10% superior e inferior de las series de información en cada caso (medias acotadas). Finalmente se consideraron más de 9.500 muestras de suelo y se contó así con más de 45.000 análisis del período 1997-2014. La información se ordenó asimismo de acuerdo a la localización de las muestras, según grandes zonas geográficas o zonas agroclimáticas (cuadro 5.1).

El nitrógeno es utilizado por las plantas en grandes cantidades, por lo que generalmente debe ser agregado en dosis de fertilización de praderas y cultivos. Es además un elemento que se encuentra en formas bastante móviles en el suelo, por lo que tiende a perderse por diversas vías. En el cuadro 5.1 se observan niveles medios a bajos de nitrógeno prácticamente en todas las zonas, salvo en la Zona húmeda norte. Los valores de nitrógeno disponible en el suelo son muy dinámicos y en estos casos casi siempre se tendrá respuesta a la aplicación de fertilizantes.

Zona	n	N	P	K	pH	MO	S
		mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg		%	mg/ kg
Estepa	464	20,0	18,0	267,0	6,1	10,1	3,1
Húmeda central	1179	24,8	10,1	137,4	5,7	14,0	2,9
Húmeda norte	1011	36,0	11,1	127,2	5,4	18,4	3,1
Húmeda sur	271	15,8	11,9	107,4	5,5	11,3	2,3
Intermedia central	5341	17,1	17,5	211,3	6,1	11,6	2,8
Intermedia norte	238	17,8	9,9	125,6	5,8	13,5	2,6
Intermedia sur	615	18,2	21,8	205,3	6,0	11,2	3,2
Perilacustre LGC	420	15,5	15,8	228,2	6,5	5,1	5,0
Total muestras	9539						

Cuadro 5.1. Medias de nutrientes disponibles en suelos de la región de Aysén, según macrozonas geográficas. Promedios acotados de >45.000 análisis realizados en INIA Tamel Aike

La serie de datos analizada para fósforo arrojó niveles medios a bajos en casi todas las zonas geográficas de Aysén, salvo en la zona intermedia sur, donde son adecuados. Debe señalarse que la variabilidad en la concentración de fósforo es generalmente elevada para una misma zona, por lo que las condiciones locales deben analizarse en cada caso. Los rangos medios de fósforo disponible deben elevarse hasta 20 o incluso 25 mg/kg para alcanzar niveles de mantención. En este nutriente es posible corregir estas deficiencias, como se analizará más adelante. El análisis de los diferentes valles de interés agropecuario mostró que los niveles de fósforo disponible eran más bajos en la zona norte de la región de Aysén. Por otra parte, la mitad de los valles mostraron niveles promedio bajo 15 mg/kg y un 28% se situó bajo 10 mg/kg. Un 16% de los valles presentó en promedio sobre 20 mg/kg, especialmente en la zona sur este de Aysén. Lo anterior refuerza el hecho de que la variabilidad es elevada.

En el mismo cuadro 5.1 se observan los promedios encontrados para potasio disponible. Este elemento se encuentra, en promedio, en niveles adecuados en la zona de estepa, intermedia central, intermedia sur y zona perilacustre, con sobre 200 mg/kg. Por otra parte, se observan deficiencias en las demás zonas geográficas, particularmente en las zonas húmedas y en la intermedia norte. El 57% de los valles presenta deficiencia de potasio (bajo 200 mg/kg), mientras que el resto (43%) supera dicho límite, aunque sólo el 10% supera los 250 mg/kg en promedio. Un 12% de los valles se sitúa en promedio bajo los 100 mg/kg.

El azufre se encuentra en niveles bajos a muy bajos en todas las zonas analizadas. En la mayoría de los casos el azufre debe considerarse en las dosis de fertilización en praderas y cultivos, ya que su deficiencia limitará también la respuesta a los demás nutrientes. Como el nitrógeno, el azufre disponible (sulfato) se encuentra en el suelo en formas solubles y móviles, por lo que tiende a perderse con gran facilidad desde las capas superficiales del suelo. Por ello, habitualmente no es posible en estos suelos aumentar los niveles de azufre disponible vía fertilización. El 75% de los valles de Aysén presentó promedios de azufre disponible cercanos a 3 mg/kg o inferiores, mientras que menos de un 6% superó en promedio los 5 mg/kg. En este último grupo, sólo un valle alcanza valores promedio de 7 mg/kg (Bahía Jara). Todo ello habla de la extensión de la deficiencia de este elemento en Aysén.

Los rangos de pH en las zonas analizadas se mueven entre valores ligeramente ácidos (zonas perilacustre, intermedia central, intermedia sur y estepa); moderadamente ácidos (zonas húmeda central, intermedia norte y húmeda sur); hasta fuertemente ácido. Casi el 20% de los valles presentó valores promedio bajo pH 5,5 (fuertemente ácido), la mayoría de ellos ubicado en la zona húmeda norte. El 41% de los valles promedió pH 5,5-6 (moderadamente ácido), mientras que el 34% presentó pH 6-6,5. Pocas zonas, especialmente ligadas a la costa del lago General Carrera tuvieron valores de pH sobre 6,5.

Los niveles de materia orgánica de los suelos de Aysén son en general bastante elevados, salvo en la zona perilacustre (zona de muy baja pluviometría), donde son bajos. Un 14% de

los valles de Aysén supera el 15%MO en sus suelos, un 53% entre 10-15%MO, un 25% se encuentra entre 5-10%MO; y un 7% entre 3-5%MO.

Además del análisis de antecedentes históricos de fertilidad de suelos de los valles de Aysén, se procedió a realizar un programa de muestreo de suelos para el cual se definieron puntos de muestreo. En cada sitio se tomaron muestras a una profundidad de 20 cm, las que fueron analizadas para diversas variables de fertilidad de suelos, que se presentan más adelante.

Azufre

El azufre es el elemento más limitante en la mayoría de los suelos de la región de Aysén, ya que su deficiencia es generalizada y se presenta además en niveles habitualmente muy bajos. El azufre es un elemento que presenta dificultades para “construir fertilidad” (es decir para llegar a un nivel más alto de concentración en el suelo y luego mantenerlo).

La forma en que las plantas absorben el azufre es como anión sulfato, el cual es soluble y fácilmente lixiviable, sobre todo en suelos de buen drenaje, como muchos de Aysén. Los aportes de azufre para las plantas vienen de la mineralización de materia orgánica (véase capítulo más adelante), de vientos y brisas marinas, como también de la actividad humana e industrial, además de la actividad volcánica. Los suelos más deficitarios en Aysén son aquellos de la vertiente oriental de los Andes, los que tienen texturas livianas (franco arenoso en general), están distantes del océano, no tienen actividad industrial cercana y las bajas temperaturas aparentemente limitan también la mineralización del azufre. Se suma a lo anterior un régimen de precipitación que puede inducir procesos de lixiviación intensos en ciertas épocas del año.

La forma más habitual de aplicación de azufre en praderas de Aysén es en la forma de azufre elemental (S), el que debe oxidarse previamente a sulfato para poder ser absorbido por las plantas. Ello requiere de tiempo y de la actividad microbiana del suelo, por lo que las respuestas productivas son habitualmente lentas, aunque existen efectos residuales de un año al otro. La forma más rápida de obtener respuestas es aplicando fertilizantes en la forma de sulfatos, los que son más solubles. Si bien la respuesta es más rápida, también las pérdidas son mayores y deben ajustarse las dosis al consumo anual.

El consumo de azufre por las plantas (extracción) es variable de acuerdo al nivel productivo de la pradera o el cultivo. La concentración de azufre en los tejidos vegetales puede ser un buen índice del estado nutricional de este elemento en el suelo. De esta forma, el análisis foliar puede dar un buen diagnóstico del status nutricional de la planta respecto a azufre. La composición botánica de la pradera o el tipo de cultivo también incide sobre el requerimiento de azufre. Por ejemplo, las especies leguminosas y las brásicas consumen habitualmente más azufre que otras plantas.

%S	Cantidad de forraje producido (kg MS/ha)					
	2.000	3.000	4.000	6.000	8.000	10.000
	kg S/ha					
0,15	3,0	4,5	6,0	9,0	12,0	15,0
0,20	4,0	6,0	8,0	12,0	16,0	20,0
0,25	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	25,0
0,30	6,0	9,0	12,0	18,0	24,0	30,0
0,35	7,0	10,5	14,0	21,0	28,0	35,0
0,40	8,0	12,0	16,0	24,0	32,0	40,0

Cuadro 5.2. Extracción de azufre (kg S/ha) en la materia seca de una pradera con diferente concentración de azufre en sus tejidos. (C.Hepp, estimación en base a rangos de concentración de S)

El cuadro 5.2 estima la cantidad de azufre que se extrae en una pradera o cultivo con diferentes rendimientos. Si se considera que además de la fracción cosechada está el residuo y el sistema radicular, lo extraído aumenta considerablemente.

El cuadro 5.3 muestra valores de concentración de azufre medidos en suelos superficiales de diferentes zonas agroclimáticas de Aysén. Todos los valores, salvo en la zona húmeda sur, son bajos y algunos muy bajos. Las zonas más húmedas del sector occidental tienden a tener valores mayores, mientras que en las zonas orientales, los valores son notablemente más bajos. Resulta igualmente interesante observar que en este caso también hay una buena correlación entre el contenido de materia orgánica promedio y la concentración de azufre sulfato, excluyendo el comportamiento de la zona húmeda sur.

Zona	S	M.O.
	mg/kg	%
Estepa	1,6	8,8
Intermedia norte	4,3	11,6
Intermedia centro	2,4	10,6
Intermedia sur	2,0	8,9
Húmeda norte	4,4	14,5
Húmeda centro	4,9	16,0
Húmeda sur	9,0	8,6
Perilacustre sur	2,2	3,8

Cuadro 5.3 Niveles de concentración de azufre-sulfato y contenido de materia orgánica encontrados en diferentes zonas agroclimáticas de la región de Aysén.

En los suelos deficitarios de azufre de Aysén es recurrente la situación en que la concentración de azufre permanece baja a pesar de que se fertiliza periódicamente con este elemento. Ello es especialmente el caso de las zonas intermedias orientales, donde se utilizan con mayor frecuencia los fertilizantes azufrados. Ello está en línea con lo indicado anteriormente, de que es difícil construir fertilidad en el caso de azufre, ya que la forma aprovechable por las plantas (sulfato) es muy soluble y débilmente retenida por el suelo.

Aparte de la fertilización (que puede ser en formas más solubles de sulfato o de formas insolubles, como el azufre elemental) la materia orgánica del suelo también está aportando azufre a través de la mineralización. El sulfato en la solución del suelo es absorbido parcialmente por las plantas, pero otra fracción puede perderse en procesos como la lixiviación.

Los suelos volcánicos de la zona intermedia de Aysén están bajo un régimen pluviométrico que fluctúa aproximadamente entre los 700 mm y los 1.500 mm aproximadamente, dependiendo de su ubicación en la vertiente oriental de los Andes. Son suelos que tienen una infiltración rápida (figura 5.1) y pueden absorber grandes volúmenes de precipitación en tiempos limitados. Existen eventos de precipitación intensa que favorecen procesos de lixiviación, donde se ven afectados compuestos como sulfatos y nitratos.

En Nueva Zelanda, la problemática del azufre se ha relacionado mucho con los procesos de lixiviación, llegándose a establecer un “índice de lixiviación de sulfato”, el cual varía de cero (mínima lixiviación) hasta 6 (extremo). Este índice lo relacionan a factores concretos, como el porcentaje de retención de fósforo del suelo (retención de aniones), la precipitación promedio anual y el tipo de drenaje del sitio. Mediante estos parámetros han construido un indicador práctico de la susceptibilidad de un suelo para lixiviar sulfato (cuadro 5.4).

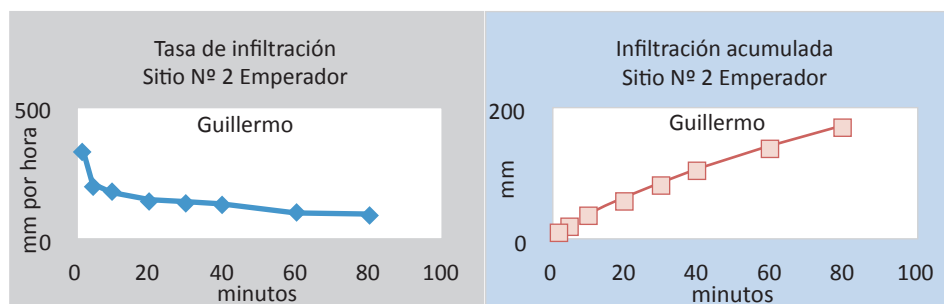


Figura 5.1. Tasa e infiltración y curva de infiltración acumulada de un suelo Andisol de la zona intermedia de Aysén (valle Emperador Guillermo). Hepp (2011)

Por ejemplo y, de acuerdo al cuadro 5.4, los suelos de sectores como Valle Simpson o Coyhaique, cuyos suelos tienen drenaje libre, retenciones de fósforo intermedias y una precipitación cercana a los 1.000 mm anuales, tendrían un índice de lixiviación de sulfato de 4 (medio a alto). En estas condiciones, los valores de azufre sulfato que se obtengan en análisis de suelo serán sólo un indicador momentáneo y puede que no reflejen el status del suelo en un momento posterior.

Retención de P	Drenaje lento			Drenaje libre		
	Baja <60%	Media 60-80%	Alta >85%	Baja <60%	Media 60-80%	Alta >85%
Precipitación (mm)	Índice de lixiviación de sulfato					
<500	2	1	0	3	2	1
500-750	3	2	1	4	3	2
750-1500	4	3	2	5	4	3
>1500	5	4	3	6	5	4

Cuadro 5.4 Índices de lixiviación de azufre en base a parámetros del sitio. (Cornforth & Sinclair (1984))

Otro aspecto estudiado en Nueva Zelanda y que resulta práctico a la hora de fertilizar con azufre en la región de Aysén, es la aplicación del índice de lixiviación de azufre para definir estrategias de fuentes de azufre y épocas de fertilización (Cuadro 5.5).

Índice de lixiviación de sulfatos	Interpretación	Aplicación fertilizante primavera	Aplicación fertilizante en otoño
ILS			
0-2	Sin lixiviación	Preferentemente sulfato	Preferentemente sulfato
3	Lixiviación moderada de invierno	Cualquier forma	Cualquier forma
4	Lixiviación severa de invierno	Cualquier forma	Preferentemente S elemental
5	Lixiviación severa invierno y moderada en verano	S Elemental o mixto elemental/sulfato	Sólo S elemental
6	Lixiviación completa de invierno y severa en verano	Sólo S elemental	Sólo S elemental

Cuadro 5.5. Uso del índice de lixiviación de sulfato para definir la época y fuente de fertilización más recomendable. Cornforth & Sinclair (1984)

La importancia de considerar siempre la fertilización con azufre, especialmente en suelos de la zona intermedia de Aysén, queda de manifiesto en la figura 5.2. Una pradera naturalizada (PN) degradada, con un historial de fertilización de cuatro años muestra que desde una producción inicial cercana a 1.200 kg MS/ha aumenta hasta casi 7.500 kg de MS/ha, al utilizarse una combinación de fósforo y azufre. Por otra parte, el uso exclusivo de fósforo, sin azufre en la fórmula, presenta incrementos solamente marginales.

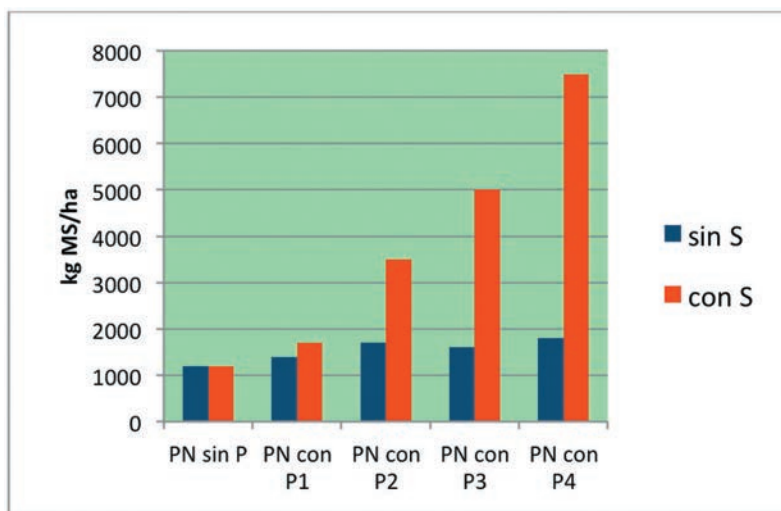


Figura 5.2. Respuesta de una pradera naturalizada de la zona intermedia de Aysén a la aplicación de fósforo, con y sin aporte de azufre. INIA (1994)

En la misma pradera, se observa que si bien es muy importante considerar la deficiencia de azufre en el suelo, el uso combinado de S y P permite alcanzar potenciales más elevados de producción (Figura 5.3).

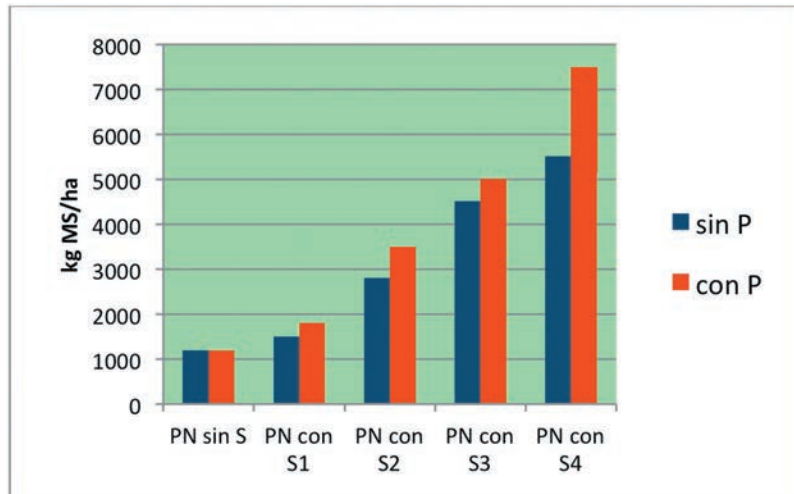


Figura 5.3. Respuesta de una pradera naturalizada de la zona intermedia de Aysén a la aplicación de azufre, con y sin aporte de fósforo. INIA (1994)

La figura 5.4 muestra la respuesta a aplicaciones crecientes de azufre (en la forma de superfosfato triple) en praderas naturalizadas de dos zonas contrastantes, durante cuatro años. Una corresponde al valle de Cisne Medio (CM; zona húmeda) y la segunda al valle de Coyhaique Bajo (COY; zona intermedia). En ambos casos las praderas tuvieron fertilización base NPK, por lo que se refleja en la figura es el efecto neto del azufre. La pradera naturalizada en Cisne Medio presenta un piso mucho más alto (sobre 5 t MS/ha) que la de Coyhaique (cerca de 0,8 t MS/ha). En ambos casos hay respuesta a la aplicación de azufre, siendo más dramática en la zona intermedia. En ambos casos, la curva tiende a estabilizarse en valores cercanos a 30 kg S/ha.

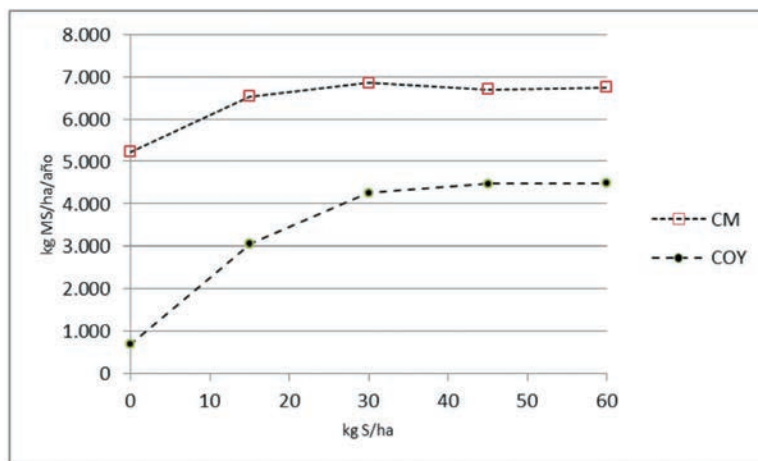


Figura 5.4. Efecto de la aplicación de azufre en dos praderas naturalizadas de zonas contrastantes en Aysén. INIA (1994)

En el caso de Cisne Medio, los aumentos de producción son del orden de 25-30% con la aplicación de azufre, mientras que en la zona intermedia (Coyhaique), los efectos son muy dramáticos, en promedio de 4 a más de 6 veces la producción sin azufre. En esta zona, al comparar la producción de la pradera degradada inicial (año 1), con la de aquellas fertilizadas durante 4 años, los aumentos son aún mayores, de entre 6 a más de 12 veces.

En la zona intermedia de Aysén, el uso combinado de azufre y fósforo, junto con elevar sustancialmente la producción de materia seca de la pradera naturalizada, provoca cambios en la composición botánica de ésta. Ya desde el segundo año de aplicación de azufre sobre praderas degradadas es posible observar un incremento significativo en la presencia de trébol blanco (Figuras 5.5. y 5.6). En la figura 5.6 se observa que el máximo de trébol blanco se produjo al tercer año de aplicación sucesiva de azufre, a razón de 30 kg S/ha/año, con una participación de 78% de trébol blanco en la composición de la materia seca. Ello implica también un aumento sustancial en el valor nutritivo del forraje.



Figura 5.5. Aumento de trébol blanco en una pradera naturalizada fertilizada con azufre.

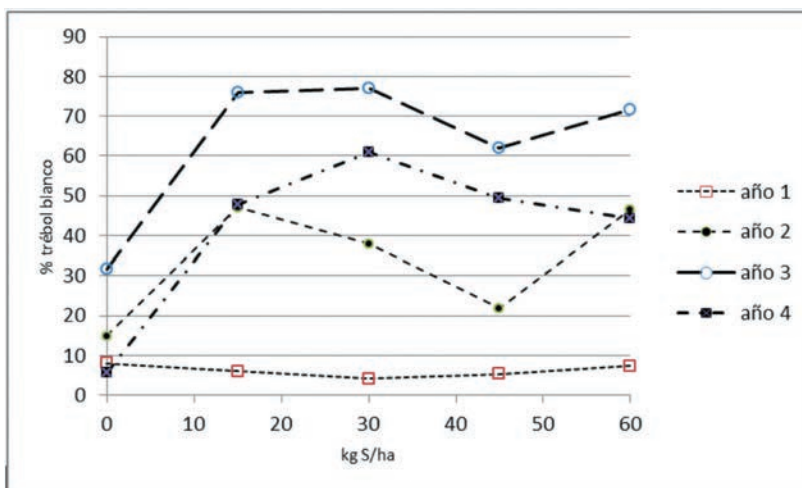


Figura 5.6. Proporción de trébol blanco en una pradera naturalizada fertilizada con azufre durante cuatro años, en la zona intermedia de Aysén. INIA (1994)

Fósforo

El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento vegetal y la mayoría de los suelos en la región de Aysén va a responder a su aplicación. Como ya se señaló, la aplicación de fósforo en muchos sitios será más efectiva si se acompaña con azufre en la fórmula de fertilización.

Resultados de análisis de suelos de diferentes valles y zonas agroclimáticas de Aysén pueden verse en el cuadro 5.6. Se aprecia que los valores más bajos de fósforo disponible en el suelo (Olsen) se dan en las zonas más húmedas, que en todos los casos se encuentran bajo 10 mg/kg. En la vertiente oriental, los niveles de fósforo tienden a ser algo superiores, desde valores medio bajos entre 12-14 mg/kg, hasta valores superiores de 19 mg/kg en la zona intermedia sur.

Zona	P	CP	%ret P
	mg/kg	kg P/ppm	%
Estepa	13,9	13,6	52,0
Intermedia norte	8,2	45,0	s/i
Intermedia centro	13,5	20,8	63,3
Intermedia sur	19,0	11,9	57,5
Húmeda norte	9,4	26,8	s/i
Húmeda centro	8,9	28,0	s/i
Húmeda sur	7,3	17,4	64,9
Perilacustre sur	12,4	5,6	20,0

Cuadro 5.6. Niveles de fósforo, retención de P y capacidad tampón de P en suelos de Aysén.

En varias zonas agroclimáticas se midió también la retención de fósforo de los suelos (o retención de aniones), valores que se situaron en niveles medios de entre 52-65%, salvo en la zona perilacustre o de microclima, donde la retención de fósforo es baja (20%). La retención de fósforo es un indicador de la capacidad del suelo para “fijar” los aniones, formando compuestos relativamente insolubles de hierro y aluminio, quedando entonces no disponibles para las plantas.

En el mismo cuadro 5.6 se resumen los valores de capacidad tampón de fósforo (CP) para las diferentes zonas. El CP se define como la cantidad de fósforo que es necesario aplicar en un suelo para elevar en 1 mg/kg (o ppm) el nivel de fósforo disponible (Olsen) dentro de los primeros 20 cm del suelo. Por ejemplo, en la zona intermedia central habría que aplicar 20,8 kg de P (o sea 47,6 kg de P_2O_5) para subir en 1 ppm el nivel de P disponible del suelo.

A diferencia del azufre, con una forma de sulfato muy soluble y móvil, el fósforo es un elemento de baja movilidad y que tiende a acumularse en el suelo. Bajo condiciones de aplicación de fósforo vía fertilización, la acumulación ocurre especialmente en la capa superior del suelo (figura 5.7). De esta forma, y sobre todo si se desea comparar resultados entre años o sectores, es muy importante definir la profundidad de muestreo de un suelo, ya que ello influirá fuertemente en la concentración de fósforo que se obtenga.

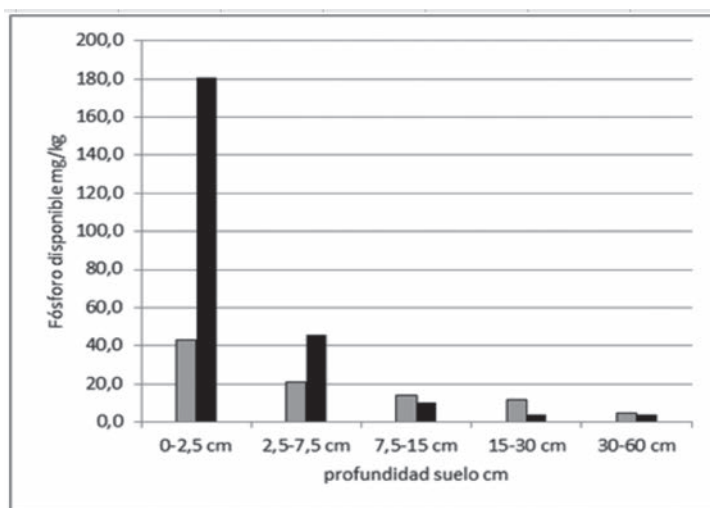


Figura 5.7 Distribución de P Olsen en los primeros 60 cm de un suelo volcánico de la zona intermedia de Aysén sin aplicación de P (color claro) y con sucesivas y altas aplicaciones de P (color negro). Hepp (2011)

Al ser el fósforo un elemento de baja movilidad en el suelo, las reservas no varían tan rápido de un año a otro, lo que permite “construir reservas”, es decir, programar los aumentos de fósforo hasta lograr niveles adecuados (corrección) y luego mantenerlos.

Además de la producción neta de materia seca, un aspecto que influye en la extracción de fósforo (y de otros nutrientes) desde un sitio es la carga animal (a mayor carga, mayor extracción) y la pendiente del sector, debido a los traslados de fertilidad que pueden ocurrir en zonas de mayores pendientes, ya sea por escorrentía como por traslado de fertilidad a través del movimiento y comportamiento animal.

La figura 5.8 muestra resultados de tres praderas naturalizadas de tres zonas agroclimáticas diferentes LJ (La Junta, zona húmeda norte); CM (Cisne Medio, zona húmeda transicional); COY (Coyhaique, zona intermedia central). En los tres casos se aplicaron durante cuatro años dosis repetidas de fósforo (expresados en P_2O_5) y se midió la producción de forraje (MS; materia seca). En los tres casos se aplicaron dosis de NKS como base, por lo que el efecto de P es neto.

A pesar de que las tres praderas parten de pisos diferentes, la respuesta a la aplicación de fósforo es similar. La mayor eficiencia en la aplicación de fósforo se produce hasta entre 40-60 kg/ha, aunque posteriormente continúa en aumento, aunque a una tasa menor. En la Junta, en promedio se observan aumentos de producción de materia seca de entre 25 hasta 53%, llegándose a superar los 8.000 kg de MS/ha en praderas naturalizadas. En Cisne Medio el aumento es de 31-71%, llegando a producciones similares a la anterior. En Coyhaique, con una pradera naturalizada más degradada y en condiciones más frías y secas que las anteriores, los aumentos van de 54-126%, con topes productivos de cerca de 4.500 kg MS/ha/año en este caso.

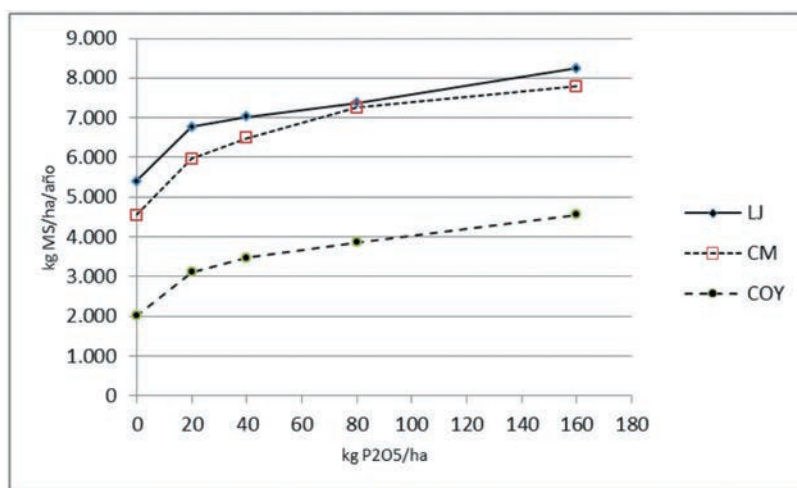


Figura 5.8. Efecto de la aplicación de fósforo en tres praderas naturalizadas de zonas contrastantes en Aysén. INIA (1994)

Nitrógeno

La principal fuente de nitrógeno para las plantas es el suelo, salvo en aquellos grupos de vegetales que tienen la capacidad de fijar nitrógeno del aire. Este elemento es fundamental en el desarrollo vegetal y determinante en el rendimiento de las praderas y cultivos. El nitrógeno se encuentra en grandes cantidades en el suelo, sin embargo, la mayoría se encuentra en formas orgánicas, no disponibles para ser absorbidas. Las formas disponibles para las plantas son el nitrógeno amoniacal (amonio) y el nitrato, ambas formas que están en la solución del suelo pero que representan una mínima parte del N total (habitualmente 1-2% solamente).

Las plantas compiten por el nitrógeno disponible del suelo (absorción), pero también hay otros procesos mediante los cuales el nitrógeno deja de estarlo, como el caso de lixiviación, inmovilización, volatilización, entre otros. Existen microorganismos en el suelo encargados de muchos de estos procesos, los que además dependen de las condiciones microambientales del perfil, por lo que la dinámica del nitrógeno es compleja. La mayoría de los suelos es deficitario en nitrógeno, por lo que muchas veces debe ser aportado también en la forma de fertilizante.

Zona	N
	mg/kg
Estepa	49,8
Intermedia norte	26,3
Intermedia centro	40,7
Intermedia sur	28,4
Húmeda norte	83,8
Húmeda centro	51,9
Húmeda sur	50,1
Perilacustre sur	10,4

Cuadro 5.7. Niveles de nitrógeno disponible en suelos de diferentes zonas de Aysén.

De forma similar a lo que ocurre con el azufre-sulfato, el análisis de nitrógeno sólo refleja la situación del momento, ya que la alta dinámica señalada implica cambios permanentes y relativamente rápidos dentro de una temporada de crecimiento. Por ello, los resultados de análisis deben interpretarse en ese contexto y con las limitaciones que ello implica.

En el cuadro 5.7 se encuentran algunos promedios de resultados de análisis de nitrógeno disponible para suelos de diferentes zonas agroclimáticas de Aysén. Los valores son bastante disímiles, desde niveles relativamente altos en zonas de estepa, intermedia central, y las zonas húmedas en general. En las demás zonas intermedias, los valores encontrados son más bien medios, mientras que en la zona perilacustre fueron bajos.

La figura 5.9 muestra los resultados de experimentos en que se aplicaron dosis crecientes de nitrógeno (nitrato) sobre dos praderas naturalizadas en zonas contrastantes: Coyhaique (Coy; zona intermedia, Valle Simpson) y Aysén (Ays; zona húmeda). Ambas praderas son diferentes en composición: mientras en Coyhaique se trata de una pradera mixta de pasto ovillo y trébol blanco, en Aysén la pradera está dominada por pasto miel y chépica, con menos leguminosas. En ambos casos se realizaron dos cortes (primavera y fines de verano), los que se indican en la figura como 1 y 2, además del total (T).

De la figura 5.9 se desprende que el efecto mayor en la aplicación de nitrógeno se produce en la primera parte de la temporada (corte 1), que es además el período de más activo crecimiento. Según estos datos, aplicaciones de 50 kg N/ha permiten elevar la producción de materia seca en un 40% (Coyhaique) o incluso 56% (Aysén), lo que implica eficiencias de 32-36 kg MS/kg N. Con dosis mayores se producen aún aumentos, pero la eficiencia es menor.

En el segundo corte, los efectos de aplicación de nitrógeno no son significativos y no sería recomendable utilizarlo en esa parte de la temporada. En términos de producción total de la temporada, se logran potenciales productivos de casi 10 t MS/ha en praderas naturalizadas de Aysén, y de cerca de 7 t MS/ha en Coyhaique, al utilizar nitrógeno temprano en primavera.

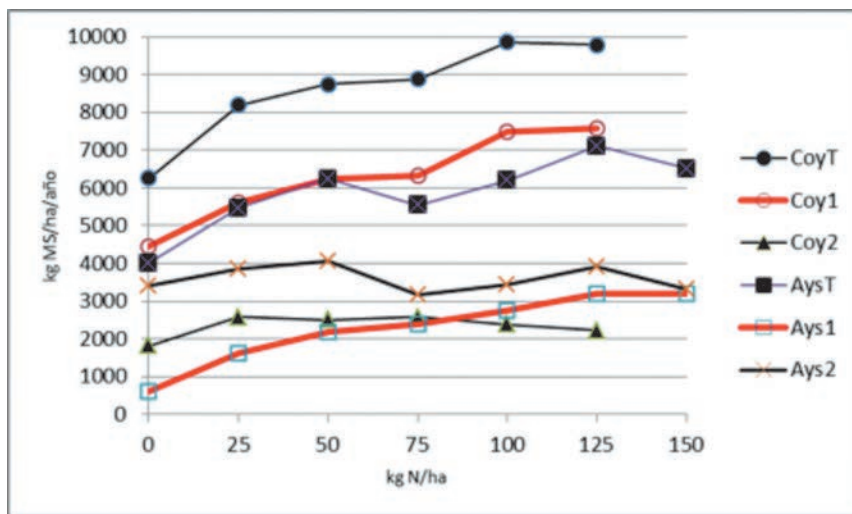


Figura 5.9. Efectos de aplicación de nitrógeno en praderas naturalizadas de dos zonas agroclimáticas contrastantes de Aysén (dos cortes y total). INIA (1998)

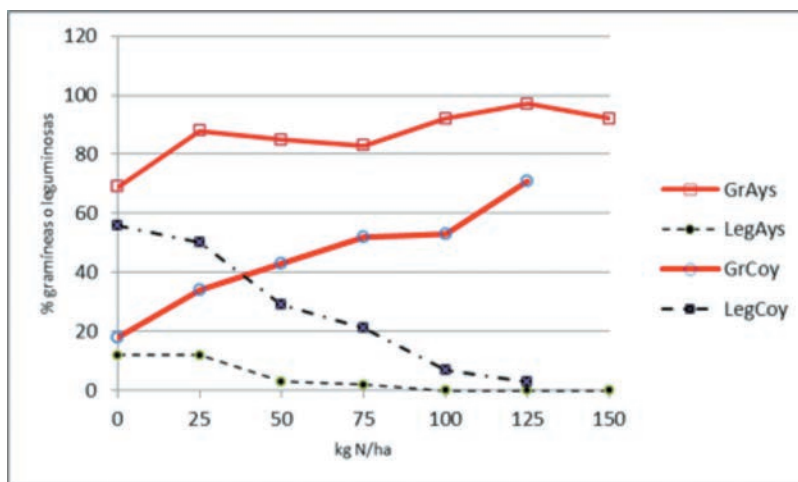


Figura 5.10. Efectos de aplicación de nitrógeno sobre los cambios botánicos (gramíneas versus leguminosas) en praderas naturalizadas de dos zonas agroclimáticas de Aysén.

La aplicación de nitrógeno tiene también efectos secundarios en las praderas, al estimular el crecimiento de gramíneas en desmedro del de leguminosas. El cuadro 5.10 muestra cómo en las praderas de la zona de Coyhaique, como en la de Aysén, se produce este efecto al aumentar la dosis de nitrógeno aplicada. Las gramíneas aumentan desde 70% a cerca de 90% en Aysén (desde 20 a 50% en Coyhaique), mientras que las leguminosas disminuyen desde cerca de 58% a cero en Coyhaique y desde 12% a cero en Aysén. Incluso con dosis bajas de nitrógeno se aprecia un efecto, pero dosis de hasta 50 kg/ha aún mantienen un 30% de leguminosas en praderas de Coyhaique, mientras que los niveles de 25 kg N/ha parecen no afectar a las leguminosas en Aysén.

En la zona intermedia de Aysén, en un suelo Andisol cercano a Coyhaique se estimó, mediante un método de diferencia, la capacidad de fijación de nitrógeno en una pradera mixta mejorada vía fertilización (pradera mixta gramíneas-leguminosas versus pradera sin leguminosas). Los resultados indicaron niveles de fijación de hasta 260 kg N/ha/temporada (período de crecimiento septiembre a abril) el primer año y de 121 kg N/ha el segundo. Las tasas de fijación promedio llegaron a 1,35 kg N/ha/d y 1,17 kg N/ha/d, en el primer y segundo año, respectivamente. La pradera fijadora tenía en promedio más de 50% de trébol blanco en su composición botánica. La mayor actividad de crecimiento y fijación ocurre entre el mes de noviembre y el de enero, en que las tasas diarias pueden llegar a duplicarse.

Potasio

El potasio es una de las bases de intercambio del suelo y un elemento esencial para las plantas. El contenido de potasio en los suelos de Aysén es variable, aunque en muchos sectores tiende a estar en cantidades adecuadas. Los suelos tienen capacidad para suministrar potasio y es un elemento de relativa fácil corrección a través de fertilizantes. El potasio se encuentra en altas concentraciones en las plantas, por lo que su extracción es elevada, sin embargo, en sistemas ganaderos tiende a reciclarse una proporción importante a través de las deposiciones animales. También presenta riesgos de lixiviación, por lo que hay una tendencia a encontrar más deficiencias de potasio en zonas húmedas. En cultivos más extractivos y de alto potencial de crecimiento (alfalfa, brásicas, cereales) la extracción puede ser más significativa, sobre todo si la producción se consume en un lugar diferente y no existe el retorno correspondiente al suelo.

El cuadro 5.11 muestra los promedios encontrados en suelos de diferentes zonas agroclimáticas. Se observan niveles altos en la zona de estepa, donde hay sistemas muy extensivos y de baja extracción y 100% pastoriles. En la zona intermedia central se aprecian niveles altos de potasio (sobre 200 mg/kg), niveles medios (175 mg/kg) en la zona intermedia sur, y medios a bajos en la intermedia norte (122 mg/kg). En las zonas húmedas norte y sur se encuentran niveles bajos de potasio, mientras que en la zona húmeda central los niveles promedio son medios (153 mg/kg). La zona de microclima o perilacustre presenta niveles promedio muy altos de potasio disponible.

Zona	K
	mg/kg
Estepa	342,7
Intermedia norte	122,4
Intermedia centro	208,8
Intermedia sur	175,4
Húmeda norte	87,7
Húmeda centro	153,5
Húmeda sur	88,2
Perilacustre sur	350,8

Figura 5.11. Niveles promedio de potasio disponible en suelos de diferentes zonas agroclimáticas de Aysén.

Capacidad de intercambio catiónico

En el suelo, los nutrientes se encuentran habitualmente en formas iónicas, ya sea como aniones o cationes. Ciertas partículas del suelo, como arcillas y el humus de los complejos orgánicos también tienen cargas, las que son principalmente negativas. Las superficies de estos componentes del suelo que se encuentran cargadas eléctricamente se conocen como el “complejo de intercambio catiónico del suelo”.

De esta forma, los nutrientes son adsorbidos a través de cargas electrostáticas, tendiéndose a establecer un equilibrio de cargas, lo que establece un balance entre los iones que se encuentran en la solución del suelo y aquellos que están en el complejo de intercambio.

Cuando las plantas absorben nutrientes a través de sus raíces, el complejo de intercambio repone iones y tiende a mantener así el equilibrio de cargas. De esta forma, los nutrientes que se encuentran en el complejo de intercambio están potencialmente disponibles para las plantas. El número de sitios de carga negativa en el complejo de intercambio se conoce como la “capacidad de intercambio catiónico” (CIC). Los cationes calcio, magnesio, potasio y sodio se conocen como cationes alcalinos y su suma se conoce como “suma de bases”.

La capacidad de intercambio catiónico efectiva incluye además al aluminio de intercambio, elemento que tiende a solubilizarse en suelos ácidos. La proporción de la suma de bases en relación a la CIC efectiva se conoce como “saturación de bases”, mientras que la proporción de aluminio en relación a la CIC efectiva corresponde a la “saturación de aluminio” y ambas se expresan en porcentaje (%). En suelos ácidos, la tendencia es a un descenso en la saturación de bases y un consiguiente aumento en la saturación de aluminio. Ello tiene efectos negativos para el crecimiento vegetal.

La CIC dependerá entonces principalmente de la textura del suelo (tipo y cantidad de arcillas) y del contenido de materia orgánica estable (humus). Una alta saturación de bases estará asociada a valores de pH más altos, mientras que una baja saturación de bases se relaciona con condiciones ácidas.

En el cuadro 5.12 se resumen los promedios de bases y de CIC efectiva de suelos de diferentes zonas agroclimáticas de Aysén. Las zonas de la vertiente oriental de los Andes presentan mayores niveles de CIC que las zonas húmedas, donde es muy baja. Una tendencia similar se aprecia al considerar la saturación de aluminio, la que llega a casi 25% en la zona húmeda norte y entre 10-20% en la zona húmeda centro y sur. En esas circunstancias se hace necesario recurrir a enmiendas calcáreas, de modo de recuperar bases en el suelo y bajar la actividad del aluminio, elemento tóxico para las plantas.

Zona	Ca	Mg	K	Na	Al	CICe	%Sat Al
	cmol+/ kg	cmol+/ kg	cmol+/ kg	cmol+/ kg	cmol+/ kg	cmol+/ kg	%
Estepa	9,6	2,7	0,9	0,2	0,0	13,1	0,3%
Intermedia norte	4,4	1,0	0,4	0,1	0,1	5,8	2,9%
Intermedia centro	10,2	1,6	0,6	0,1	0,0	12,7	0,7%
Intermedia sur	7,3	1,3	0,5	0,1	0,1	9,7	2,7%
Húmeda norte	1,2	0,4	0,3	0,1	0,6	2,8	24,9%
Húmeda centro	2,6	0,8	0,4	0,1	0,4	4,6	11,8%
Húmeda sur	1,6	0,4	0,3	0,1	0,6	3,0	19,1%
Perilacustre sur	16,3	3,7	0,9	0,2	0,0	21,8	0,1%

Cuadro 5.12. Bases de intercambio, capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe) y porcentaje de saturación de aluminio en suelos de zonas agroclimáticas contrastantes de la región de Aysén.

El desglose de la CICe muestra altos niveles de calcio intercambiable en las zonas de estepa, intermedia y perilacustre, como también mayores niveles de magnesio, potasio y sodio intercambiables. Los niveles de aluminio intercambiable son muy bajos en dichas zonas, pero se elevan en las zonas húmedas, a niveles que limitan el crecimiento de las plantas.

La corrección de la acidez del suelo está en realidad dirigida a disminuir la saturación de aluminio, siendo lo primero una consecuencia de lo segundo. La enmienda calcárea, que se realiza en la zona húmeda de Aysén habitualmente utilizando carbonato de calcio, permite aumentar los niveles de calcio del suelo y así aumentar la saturación de bases. También reducen la actividad de otros iones como manganeso, mientras que aumenta la disponibilidad de micronutrientes como molibdeno y boro. El uso de enmiendas calcáreas aumenta también la eficiencia de utilización de fósforo, favorece la nodulación en leguminosas y, en general, estimula el desarrollo de vida en el suelo.

El cuadro 5.13 muestra los valores pH promedio de muestras de las diferentes zonas de la región de Aysén. Nuevamente las zonas húmedas muestran diferencias, con suelos notablemente más ácidos (rango fuertemente ácido en la zona húmeda sur y moderadamente ácido en la húmeda norte y central, además de la intermedia sur). La zona de estepa y las intermedias central y norte tienen suelos ligeramente ácidos en promedio, mientras que en la zona perilacustre se observan suelos neutros.

Zona	p H
Estepa	6,0
Intermedia norte	6,0
Intermedia centro	6,0
Intermedia sur	5,8
Húmeda norte	5,5
Húmeda centro	5,5
Húmeda sur	5,1
Perilacustre sur	6,9

Cuadro 5.13. Valores pH promedio de suelos de diferentes zonas de Aysén.

Las prácticas de fertilización y manejo de suelos implican cambios en la química de ellos, factor que debe considerarse al tomar decisiones. Existen fertilizantes que tienden a acidificar los suelos, como es el caso de la urea y otros amoniacales y, especialmente, del azufre elemental, ambos de corriente uso en Aysén. Su uso reiterativo va a ir provocando una acidificación gradual del suelo. También hay procesos naturales, como la fijación simbiótica de nitrógeno, que provoca acidificación del suelo. De esta forma, al estimularse praderas con altos niveles de leguminosas y con fijación activa, se esperaría una acidificación gradual del suelo. Es importante monitorear estos efectos en el tiempo.

En la zona húmeda norte se han realizado experiencias de enmiendas con carbonato de calcio aplicado en cobertera sobre praderas naturalizadas de la zona. Se trabajó sobre suelos con pH 5 y una saturación de aluminio inicial superior al 20%. Aplicando dosis de entre 1 t cal/ha anualmente, al tercer año se disminuyó la saturación de aluminio a 2,8% y el pH subió a 5,45.

t cal/ha/año	t cal 3 años	pH agua	Ca interc.	%saturación Al
0	0	5,0	3,0	20,2
1	3	5,5	7,5	2,8
2	6	6,0	17,6	0,2
4	12	6,4	28,5	0,0

Cuadro 5.14. Enmiendas calcáreas en un suelo de la zona húmeda de Aysén (La Junta).

En este caso, con una aplicación de 2 t cal/ha en tres años se corrige a pH 6 y la saturación de aluminio llega prácticamente a cero.

COMENTARIOS

La fertilidad de los suelos es un componente fundamental en los sistemas productivos de cualquier zona. Es importante conocer los factores inherentes a la zona donde se aplican los manejos, de modo de lograr los mejores resultados. Los suelos deben utilizarse con conocimiento de su capacidad de uso, de modo de obtener el mejor desempeño en cada caso. Ello implica un ordenamiento predial y la definición de prioridades de trabajo, como habilitación de suelos, fertilización, establecimiento, subdivisión, cultivos, conservación, enmiendas, etc.

Los resultados de investigación en química de suelos que realizó el INIA en la región de Aysén durante las décadas de 1980 y 1990, dieron pie a la implementación de programas estatales de bonificación a la fertilización de praderas, que posteriormente se transformó en el programa nacional de recuperación de suelos degradados.



Trébol blanco, una especie introducida en Aysén cuya naturalización ha sido la base de la ganadería regional sustentable.

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

Álvarez, C. y Herreros, J. 1979. Perspectivas de desarrollo de los recursos naturales de la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo: Uso y manejo actual de la tierra. Intendencia Región de Aysén, Serplac, Corfo, IREN.173 p.

CIREN 2005. Estudio agrológico XI Región. Publicación Ciren N° 130. 136 p.

Cornforth, I.S. 1998. Practical Soil Management. Lincoln University Press, Lincoln University, Canterbury, New Zealand. 248 p.

Cornforth, I.S. y Sinclair, A.G. 1984. Fertilizer recommendations for pastures and crops in New Zealand. MAF, Wellington, New Zealand.

Hall, R.G. 1994. Fire and biodiversity: the effect and effectiveness of fire management. Proceedings of the conference held 8-9 October 1994, Footscray, Melbourne, Australia. Biodiversity series, Paper N° 8. Biodiversity Unit Victorian College of Agriculture and Horticulture, Burnley, Victoria 3121.

Hepp, C. 1995. Investigación en tecnologías de uso de fertilizantes en praderas de la XI Región. . Informe Final proyecto FNDR. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Coyhaique, Región de Aysén. Septiembre de 1995. 65 p.

Hepp 2011. Uso productivo de lodos de piscicultura y sus efectos en sistemas agropecuarios. Boletín técnico INIA. En prensa.

INIA 1984. Investigación en técnicas pecuarias en la XI Región de Chile. Informe Final. Proyecto FNDR Serplac. Abril 1984. 154 p.

INIA 1991. Manejo alimenticio para el ganado y cultivos agrícolas en la XI Región. Informe Final. Proyecto FIA. Noviembre 1991. 151 p.

INIA 1998. Respuesta del rezago a la fertilización nitrogenada. In: Conservación de forraje y su uso en la alimentación del ganado en la XI Región. Informe Final. Proyecto FNDR. Diciembre de 1998. p. 20-25.

INIA 2001. Explotación conservacionista de suelos en Aysén. Informe Final. Proyecto FNDR. Abril de 2001. 67 p.

INIA 2003. Manejo de sistemas de riego y drenaje para la región de Aysén. Informe Final proyecto FNDR. Junio de 2003. 122 p.

Martinic, M. 2005. De la Trapananda al Aysen. Pehuen editores. 539 pp.

Murphy, J.D., Johnson, D.W., Miller, W.W., Walker, R.F., Carroll, E.F. and Blank, R.R. 2006. Wildfire effects on soil nutrients and leaching in a Tahoe basin watershed. *Journal of Environmental Quality* 35: 479-489.

Peralta, M., González, S., Capinelli, A. y Kühne, A. 1979. Perspectivas de desarrollo de los recursos naturales de la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo: Suelos y Erosión. Tomo I. Intendencia Región de Aysén, Serplac, Corfo, IREN.113 p.

Peralta, M., González, S., Capinelli, A. y Kühne, A. 1979. Perspectivas de desarrollo de los recursos naturales de la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo: Suelos y Erosión. Tomo II. Intendencia Región de Aysén, Serplac, Corfo, IREN.139 p.

SAG XI Región. 2014. Actualización del Estudio de las Ecorregiones de Aysén. Una aproximación sobre la base del Catastro del Bosque nativo y la Clasificación Climática de Köppen. 24 p. más anexos. No publicado.

Schenkel, G., Baherle, P., Floody, H. y Gajardo, M. 1975. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XIX. Comportamiento de algunas fórmulas de fertilización, provincia de Aysén. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. *Agricultura Técnica*, volumen 35 N° 1, 15-25.

Silva, F., Ahumada, M. y Cerda, J. 1999. Guías de Condición para los Pastizales de la Eco-región Templada Intermedia de Aysén. Subdepartamento de Divulgación Técnica, Servicio Agrícola y Ganadero.

6. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS DE LA REGIÓN DE AYSÉN

Marco Sandoval E.

Departamento de Suelos y Recursos Naturales
Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Chillán, Chile.

La comprensión de las características físicas de los suelos pasa por entender su relación con los materiales de los cuales se originaron, también conocidos como “**materiales parentales**”. En el caso de la región de Aysén, estos materiales son variados, y obedecen a distintos procesos y ubicación en el tiempo de la geología de la región. Entre los procesos a los cuales se hace mención destaca especialmente la intensa actividad volcánica y tectónica de placas, que en su conjunto, le han dado forma a parte importante del paisaje de esta zona. El material parental que aporta la actividad volcánica es variado y puede provenir de eventos eruptivos que irrumpen a través de la corteza terrestre con diferentes intensidades y características propias, como son la eyecciones de grandes cantidades de cenizas volcánicas. Estos materiales pueden ser muy finos, hasta tamaños que consideran rangos de arenas finas a gruesas, flujos de lavas y diversos materiales piroclásticos, que posteriormente son esparcidos y acomodados por los vientos dominantes y aguas, materiales que en su conjunto van constituyendo el sustrato para la formación del suelo. Además, la corteza terrestre de la región se encuentra dominada por diversas formaciones de masas rocosas cuyos orígenes puede ser ígnea, metamórfica o sedimentaria.

No se puede dejar de mencionar la dinámica de los glaciares, cuyo accionar le confiere un sello característico y distintivo al paisaje de la región, reconocido por sus estrechos valles que esconden lagos y ríos. El avance y retroceso de estas grandes masas de hielo van generando un red hidrológica de caudalosos ríos y lagos comunicados entre sí, cuya formación y actual estabilidad, dejan atrás una historia de inundaciones y transportes de materiales, que distribuidos y vueltos a redistribuir van aportando materiales que dieron origen a los

actuales suelos. Todo esto explica las variadas posiciones que ocupan los distintos materiales que dieron origen a los suelos, y que hoy encontramos en el paisaje de esta región, desde terrazas aluviales, terrazas remanentes, depósitos coluviales, laderas de cerros, depresiones y montañas.

La formación de un suelo, es consecuencia directa de la evolución de estos materiales parentales, los cuales pueden evolucionar en cualquier posición geográfica, siempre que existan las temperaturas y el agua que permita la meteorización de estos. Por lo mismo, es predecible que, existiendo zonas con características climáticas diferentes y materiales parentales distintos, los procesos evolutivos de estos materiales resultan diferenciados, tanto en velocidad como en sus características físicas y químicas resultantes.

Es preciso señalar que a estos procesos se debe sumar el accionar biótico, generado por las especies vegetales colonizadores que encuentran ventajas en los diversos escenarios que se presentan. Además, interactúan con los microorganismos y fauna presentes y dan origen a la dinámica de la materia orgánica en el suelo o ciclo del carbono. De ahí que la variación en cuanto al tipo y abundancia de vegetación, está en directa relación con el medio físico (clima y suelo) y caracterizará la dinámica de la materia orgánica en el suelo, cuyas consecuencias se verán reflejadas en la organización estructural y demás propiedades del sistema suelo.

De los anteriores puntos señalados, se puede generalizar la existencia de variados procesos que ocurrirían en el suelo. Estos procesos pueden ser considerados inclusivos o de ganancia, exclusivos o de pérdida, y aquellos de transformación y translocación.

Estos procesos, que se rigen por leyes de la física, química y que además involucran bioprocesos son los responsables de la formación de los horizontes genéticos de los suelo (A, E, B) y le confieren sus particularidades a cada suelo, proceso conocido como pedogénesis.

En lo particular podemos indicar que la pedogénesis es la responsable de las características organizacionales de la estructura de un suelo y del funcionamiento del mismo. De ahí que la selección y creación de nuevos parámetros físicos o indicadores de calidad física de los suelos encuentran sus fundamentos y explicación en la pedogénesis de los suelos.

Durante las numerosas campañas realizadas en la región de Aysén se evaluaron algunos parámetros físicos relevantes, que fueron:

Granulometría y clase textural del suelo

Ambas consideran los elementos esenciales que establecen y definen propiedades permanentes en el largo plazo en los suelos. La granulometría se define como la proporción relativa de las distintas partículas minerales inferiores a 2 mm, que se obtienen luego de la destrucción de los agregados presentes en el suelo. Esto permite definir la proporción existente en las diferentes fracciones granulométricas (arena, limo y arcilla) de una muestra de suelo. Consecuencia de las diferentes proporciones de las fracciones de (arena, limo y arcilla) y mediante el uso de triángulos texturales se obtiene la clase textural dominante de un suelo (ejemplo; Arcillosa, franco arcillosa, franco limosa, arenosa) (Sandoval et al. 2012)

La granulometría es una característica estable y por lo mismo puede considerarse una determinación básica del suelo, que permite inferir propiedades y características directamente relacionadas con el uso y comportamiento del suelo, por ejemplo:

- Capacidad de intercambio de cationes y aniones.
- Capacidad de retención de agua para las plantas
- Capacidad de infiltrar las aguas lluvias
- Riesgo de erosión hídrica y/o eólica.
- Facilidad de laboreo
- Capacidad de intercambio de gases
- Movimiento de elementos contaminantes

Capacidad de Campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP)

Estos parámetros son propiedades hídricas de los suelos, y se relacionan con el agua que puede almacenar un suelo luego de saturar con agua una muestra y aplicar una presión de 0,33 atmósferas en el caso de CC y de 15 atmósferas para el caso de PMP. Logrado el equilibrio, es decir, cuando aplicadas las presiones mencionadas la muestra no pierde más agua, entonces, se determina su contenido de agua retenida en forma gravimétrica o volumétrica. En general los suelos arenosos retienen menos agua que clases texturales con más arcillas u organizaciones estructurales de los suelos cuya porosidad favorece el almacenamiento de agua. El PMP tiene un significado fisiológico y es descrito por la literatura como el nivel de almacenamiento de agua en el cual la mayoría de los cultivos no son capaces de extraer esa agua, consecuencia de la fuerte tensiones a la cual se encuentra retenida y por lo mismo las plantas morirán por estrés hídrico.

Conocer los valores de ambos puntos, CC y PMP, son necesarios para establecer programas de riego, y tienen un valor ecológico y ambiental en el manejo de los suelos.

Humedad aprovechable (HA) o agua disponible

Este indicador define la capacidad de almacenamiento de agua de un suelo. Es el resultado de la diferencia entre el almacenamiento de agua a capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP):

$$HA = CC - PMP$$

Dónde:

HA= almacenamiento de agua (%hbs)

CC= capacidad de campo (%hbs)

PMP= punto de marchitez permanente (%hbs)

La importancia de este parámetro físico-hídrico no solo tiene implicancias en el riego, sino que también es un indicador de calidad de suelo, puesto que suelos con menor almacenaje de agua ofrecen una condición de mayor riesgo para los cultivos o la vegetación en situaciones de sequía. Con excesos de pluviometría, los suelos están propensos a saturarse con mayor facilidad, aumentando el riesgo de erosión hídrica en zonas de pendiente, y se favorece el mal drenaje en zonas bajas de mayores precipitaciones.

Densidad aparente (Da)

El indicador más utilizado para inferir la porosidad total de un suelo es la densidad aparente (Da). Cuando ésta aumenta, disminuye el espacio poroso de un suelo. Sin embargo, la densidad aparente no permite efectuar referencias sobre la distribución y tipo de poros.

La densidad aparente es la relación entre la masa de suelo seco y el volumen aparente del suelo (sólidos + poros) en su estado natural no disturbado (Sandoval et al. 2012). La variación de los valores va aparejada con la modificación estructural del suelo. Dicho efecto tiene su origen en procesos naturales o de origen antropogénico, debido al tráfico, laboreo y pisoteo del ganado. Valores superiores a $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ indican que el suelo se encuentra compactado y con una mala relación suelo-aire. La evaluación de la Da es necesaria para:

- Resolver cálculos como la conversión de datos base-masa a base-volumétrica y para el cálculo del volumen del suelo o, viceversa.
- Calcular la masa de un determinado espesor de suelo (cálculos para las aplicaciones de fertilizantes, agroquímicos, tasas de riego).
- Calcular el estado de la porosidad del suelo.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SUELOS DE LA ZONA SUR DE LA REGIÓN DE AYSÉN

Esta zona comprende los suelos que se encuentran en el área de; Villa O' Higgins, Puerto Yungay, cercanos a Caleta Tortel, Cochrane, Puerto Guadal y Chile Chico.

Las zonas de lomajes cercanos a Villa O'Higgins presentan depósitos de cenizas volcánicas (sector Baranda) cuyas clases texturales corresponden a franco limoso, y franco, con densidades aparentes que no superan $1,0 \text{ g cm}^{-3}$, y con capacidad de almacenamiento de agua en rangos de 11 a 15 %hbs. Se debe tener presente que la pedogénesis de estos materiales es más bien reciente y se encuentran afectados por la glaciación, por esto en la misma zona, sector de referencia (El Bagual), se encontraron materiales más gruesos que hacen que las clases texturales correspondan a suelo franco arenoso y arenosos, con abundancia de gravas de diferente tamaños, condiciones que hacen de la capacidad de almacenaje de agua de estos suelo menor (10 % hbs) y le imponen factores de mayor limitación al desarrollo de especies vegetales.

La zona de Tortel en las cercanías al aeródromo, corresponde a terrazas aluviales con texturas franco limosas, D_a menores $1,1 \text{ g cm}^{-3}$, además, presenta problemas de drenaje. También es posible de encontrar texturas arenosas a franca arenosa en suelos ubicados en terrazas aluviales cercanos al Lago Quetru, suelos delgados y de excesiva infiltración, D_a $1,2$ a $1,4 \text{ g cm}^{-3}$.

La zona de Cochrane se caracteriza por presentar en su paisaje, una variada geomorfología; terrazas lacustres y aluviales, lomajes ondulados y montañas de bloque, en cuyos suelos la fracción dominante son las arenas depositadas por procesos aluviales, y fluvio-glaciales. Sectores como Ñadis, laguna Cisne y Lago Vargas presentan texturas franco limosas y franco arenosas. Además, en estos suelos es posible detectar presencia de cenizas volcánicas, como también es posible encontrar en sectores cercanos depósitos de arcilla, con $D_a > 1,5 \text{ g cm}^{-3}$, bajo estratos arenosos a francos. Esta gran variabilidad, viene a confirmar la dinámica de la región en relación a la distribución de los materiales que dieron origen a estos suelos e indica que no es factible la extrapolación de información a zonas muy amplias. Por esto, los trabajos puntuales requerirán de trabajos de terreno detallados de acuerdo a los objetivos que se persigan.

La exploración de Chile Chico y sus zonas aledañas, permitió identificar diferentes características físicas. El sector de chacras presenta una dominancia de las clases texturales franco arcillosas a arcillo arenosas, cuyos materiales tiene origen lacustre y aluvial. De ahí que la D_a varía ($0,9$ a $1,7 \text{ g cm}^{-3}$). Por lo mismo, las capacidades de almacenaje de agua son variadas (10 a 20 %hbs). En relación a los suelos que se encuentran en la terraza fluvio-glacial que se ubica en el camino a la reserva Jeinimeni, se presenta un perfil dominado

por arcillas, a diferencia de los sectores de (Bahía Jara y el puente Maitén) que presentan texturas arenosas de origen volcánico.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SUELOS DE LA ZONA CENTRO SUR DE AYSÉN

La zona en general se encuentra fuertemente influenciada por la actividad volcánica, cuyas cenizas han cubierto sectores caracterizados por lomajes, situación descrita en bahía Exploradores, y terrazas fluvio-glaciales como lacustres (Sta. Clara, Valle río Engaño y tranquilo paseo el Belga, Cerro Castillo). Estas cenizas descansan sobre depósitos de diferentes orígenes; aluviales, lacustres y fluvio-glacial. La clase textural dominante de estos suelo es franco arenosa y existe presencia de materiales gravosos en profundidad, con Da (0,6 a 1,09 g cm⁻³) y con baja capacidad de almacenamiento de agua (aprox. 10%hbs).

Sin embargo, los suelos de lomajes suaves a ondulados cercano a la ciudad de Coyhaique (cerro Galera, Tamel-Aike, lago Paloma, Villa Freire, seis lagunas, el Claro, Mano Negra) son profundos a medios, con texturas dominantes tipo franco arenosos a franco limosos. Las Da varían entre 0,6 a 1,1 g cm⁻³, con una capacidad de almacenaje de agua que puede superar los 20%hbs.

En los suelos Andisols descritos en la zona centro sur y sur de Chile se pueden alcanzar valores de hasta 70%hbs, sin embargo, en esta zona de Aysén, estos valores resultan bastante menores. Una posible explicación, es señalar que estos suelos, si bien presentan pedogénesis (diferenciación en sus horizontes genéticos), su evolución es más reciente y dada las condiciones climáticas de la zona, el proceso de formación y evolución de las fracciones arcillosas ha sido lento y escaso. De las arcillas depende en parte la formación de agregados y su estabilidad. La formación de complejos arcilla-MO-cationes es un proceso complejo, cuyo resultado mejora las condiciones de estabilidad estructural, almacenamiento de agua e intercambio de flujos de masa y mejora las reserva de nutrientes. Sin embargo, en la Región de Aysén gran parte de los suelos no ha alcanzado su madurez edáfica (texturas arenosas, franco arenosas), y parte importante de las propiedades físico-hídricas de hoy, son dependiente del contenido de materia orgánica que aportan los pastos, arbustos y árboles colonizadores. Esto define la fragilidad del sistema edáfico y en consecuencia establece la dependencia de los componentes de los ecosistemas terrestres presentes en la región y esclarece su fragilidad.

Por esto, si bien estos suelos presentas buenas condiciones para el desarrollo de praderas, se debe cuidar la fragilidad estructural, la cual puede verse afectada por la erosión hídrica y eólica que reviste un riesgo latente cuando el manejo del suelo no contempla la sostenibilidad de sistema edáfico.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SUELOS DE LA ZONA NORTE DE AYSÉN

Sectores ubicados en el Valle Pangal (Pto. Aysén), corresponden a terrazas fluvio-glaciales. Sus suelos se caracterizan por tener depósitos de arenas y cenizas volcánicas sobre anteriores depósitos fluvio-glaciales. Las clases texturales dominantes corresponden a franco arenosas y franco limosas, influenciadas por la materia orgánica. En general presentan mal drenaje y una D_a entre 0,6 a 0,8 g cm⁻³.

Otros sectores conocidos como Boca de León, Bajada Ñirehuao, Subida El Gato y Puente Torcaza, se encuentran influenciadas por depósitos de cenizas volcánicas sobre materiales glaciares, aluviales y/o fluvio-glacial. Las clases texturales dominantes son franco arenosa, franco limosa y franco arcillosas, estas últimas en zonas de mayor altura y menor precipitación (Mollisols).

La zona de Alto Cisnes (estancia Cisnes), corresponde a una planicie de posición glacial, cuyos suelos han evolucionado en condiciones climáticas de transición boreal húmedo fría a esteparia fría, con una vegetación dominante de coironal. Cuenta con clases texturales dominadas por arcillas (40 a 48,5 %) y capacidad de agua disponible que no supera 15% hbs y densidades aparentes entre 1,1 a 1,2 g cm⁻³ (Inceptisols).

Retomando el camino hacia el norte, en el sector de Puerto Cisnes, se encuentran terrazas fluvio-glaciales, cuyos suelos se asocian a depósitos de cenizas volcánicas. Ellas corresponden a más de un evento eruptivo, cuyo historial se registra en la presencia de más de un horizonte A enterrado, bajo y sobre capas de pumicitas (pómez) con distintos grados de meteorización. La zona está influenciada por varios volcanes, como Hudson, Maca, Kay, Mentolat y Melimoyu.

La influencia de las cenizas volcánicas son evidentes en la zona de La Junta hasta el Lago Verde con clases texturales francas, franco arenosas y franco limosas, y densidades aparente de 0,7 a 1,0 g cm⁻³). Sin embargo, en el acceso sur a La Junta, las texturas pueden presentar un incremento en el porcentaje de arcillas lo que responde a que los suelos corresponden a una mezcla de cenizas volcánicas y depósitos aluviales (abanicos aluviales).

Finalmente el área litoral de Raúl Marín Balmaceda, corresponde a dunas costeras de texturas arenosas. Con D_a de 1,2 a 1,3 g cm⁻³ y drenaje excesivo, la cubierta vegetal de estos suelos es estrictamente necesaria para evitar el avance por erosión eólica.

GLOSARIO

Ganancias: son aquellas que ingresan al sistema suelo (como ejemplo se puede indicar el agua, materia orgánica, energía solar, gases).

Pérdidas: aquellos flujos de masas y energía que sale del sistema suelo (ejemplo: pérdidas por lixiviación, intercambio gaseoso)

Transformación: son transformaciones profundas que sufre la materia a consecuencia de la meteorización, reacciones químicas, mineralización de la materia orgánica, formación de humus y otras.

Translocación: son los movimientos que permiten el transporte de materia mediante flujos que ocurre en el sistema suelo a través de su organización porosa, tanto de forma descendente, ascendente u horizontal (acumulaciones de sales, sustancias coloidales etc.)

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

Annabi, M. 2006. Soil aggregate stability improvement with urban composts of different maturities. Soil Sci. Soc. AM. J. 71: 413-423.

Bayhan, K., A. Isisdar, and M. Akgul. 2005. Tillage impacts on aggregate stability and crop productivity in a loam soil of a dryland in Turkey. Soil and Plant 55: 214-220.

Cruces, P., J. Cerda, y M. Ahumada. 1999. Guías de condición para los pastizales de la ecoregión templada húmeda de Aysén. Proyecto FNDR-SAG XI Región de Aysén: Levantamiento para el Ordenamiento de los Ecosistemas de Aysén. Gobierno Regional de Aysén, Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola y Ganadero, Coyhaique, Chile. 137 p.

Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodability: I. Theory and methodology. Eur. J. Soil Sci. 47: 425-437.

Quezada. C., M. Sandoval y E. Zagal. 2008. Manejo de Suelos en Zonas Áridas. Universidad de Concepción, Chillán, número 3. p 118. (I.S.B.N. 956-227-293-1)

Sandoval, M., Castillo, C., Zagal, E., Stolpe, N., Undurraga, P., 2007. Parámetros hidráulicos determinados de un Andisol bajo diferentes rotaciones culturales después de diez años. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal 7(2): 32-45.

Sandoval E., M., J. Doner F., O. Seguel., J. Cuevas B., y D. Rivera S. 2012, Métodos de análisis físicos de suelos. Universidad de Concepción. Publicaciones Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Chillán, Chile, número 5, 80p. (I.S.B.N. 956-227-293-1).

Sandoval, M., J Celis, L. Pedrero, and J. Capulín. 2013. Chemical remediation of an agricultural soil: a case study of a tsunami-affected area of Chile. *Water Air Soil Pollut.* 224:1590

Sandoval, M.A., Stolpe, N.B., Zagal, E.M., and Mardones, M. **2007**. The effect of crop-pasture rotations on the C, N and S contents of soil aggregates and structural stability in a volcanic soil of south-central Chile. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 57 (3): 255-262.

Shoji, S., Nanzyo, M., & Dahlgren, R. A. (1993). *Volcanic Ash Soils, Genesis, Properties, and Utilization, Developments in Soil Science*, No 21. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 288 pp.

Traore, O., V. Groleau-Renaud, S. Plantureux, A. Tubeileh, and V. Boeuf-Tremblay. 2000. Effect of root mucilage and modeled root exudates on soil structure. *Eur.J.Soil Sci.* 51: 575-581.

7. ASPECTOS DE LA MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS VOLCÁNICOS DEL VALLE SIMPSON Y SU IMPACTO EN LA TRANSFORMACIÓN DEL AZUFRE Y DEL NITRÓGENO

¹Carolin Córdova S., ¹Erick Zagal V., ²Christian Hepp K. y ²Pier Barattini P.

¹Departamento de Suelos y Recursos Naturales - Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción

²Centro Regional de Investigación INIA Tameil Aike, Instituto de Investigaciones Agropecuarias

INTRODUCCIÓN

El suelo está compuesto de materiales minerales y orgánicos, cuya estrecha combinación e interacción en los llamados agregados del suelo, da lugar a espacios por donde circulan el aire y el agua, constituyendo el hábitat de sostén y nutrición de las plantas. Durante los procesos de formación del suelo (miles a millones de años), tanto los materiales minerales (inorgánicos) del suelo como los orgánicos sufren descomposición y reorganización de sus componentes, por efecto del clima, el material parental, los organismos, la topografía, y el tiempo (Jenny, 1941), por lo que se puede hablar de un ciclo mineral y un ciclo orgánico que coexisten al mismo tiempo. La compleja interacción de estos, da como resultado un cuerpo suelo con características y propiedades específicas, que luego son afectadas por el uso y manejo agropecuario que recibe el suelo. En la materia orgánica del suelo (MOS) están contenidos tres de los elementos minerales esenciales para el crecimiento de los cultivos, el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el azufre (S), por lo que su función en el suelo es fundamental para la mantención de la sustentabilidad de un agro-ecosistema, y muchas de las técnicas agronómicas aplicadas al suelo influyen directamente sobre el contenido y la dinámica de los componentes de esta materia orgánica.

Los ciclos de los elementos contenidos en la MOS están estrechamente relacionados, y en los últimos 50 años se ha avanzado bastante en el estudio de la dinámica del N y el

P, y en el conocimiento de sus procesos en el suelo, pero el estudio de la dinámica del S en el suelo ha alcanzado menos desarrollo. Esto se ha dado, porque en el pasado, las deficiencias de S en los cultivos y praderas no eran muy comunes, y no existía premura en investigar sobre el S para mejorar su manejo. Sin embargo, en los últimos años se han detectados deficiencias de S en suelos en diferentes latitudes, y han proliferado los estudios en torno al ciclo de S en suelo.

En particular, en suelos volcánicos de la zona intermedia de la Región de Aysén (Patagonia Occidental) también se han observado niveles críticos de S disponible para el establecimiento y crecimiento de praderas. Es así como la aplicación de fertilizantes que contienen S es una práctica recurrente hoy en día en la zona. Sin embargo, este tipo de manejo debe hacerse de manera sustentable, lo que se consigue a través del estudio de los principales procesos que sufre el S en el suelo. Dado que alrededor del 95% del S del suelo se encuentra en la MOS, el estudio de la relación entre S disponible y el S en la materia orgánica es la primera aproximación a un mejor entendimiento de la dinámica del S en estos suelos.

Por ello es que INIA Tamei Aike a través del proyecto INNOVA CHILE 11BPC-9975 está en proceso de avanzar al entendimiento de la dinámica del S en la Región de Aysén, para mejorar el rendimiento y calidad de las praderas de la zona, haciendo un manejo específico a las condiciones locales.

Este capítulo entrega conocimientos básicos sobre la MOS e informa sobre los avances de los experimentos en la materia. En particular, el objetivo es describir la MOS en términos de sub-componentes y los flujos que los relacionan, y su asociación con algunos aspectos de fertilidad del azufre (S) y del nitrógeno (N) en suelos productivos del valle Simpson de la región de Aysén, que permitan en el corto plazo estudiar las particularidades del ciclo interno del S en estos suelos y optimizar el manejo productivo.

FUNCIÓN Y COMPONENTES DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

La materia orgánica en suelos agrícolas proviene de un continuo ciclaje de materiales a través del suelo y el cultivo, por la acción de los microorganismos del suelo que usan los materiales orgánicos para obtener energía para vivir y reproducirse. En general, la materia orgánica del suelo se define como una mezcla de sustancias orgánicas que contienen típicamente carbono (C), hidrógeno, oxígeno, y nitrógeno, y/o fósforo, y/o azufre, provenientes de la descomposición de residuos orgánicos en el suelo. Ellos son introducidos al suelo por efecto del manejo agronómico. Es decir, se considera materia orgánica a todos los restos de plantas y animales, exudados de raíces, organismos que habitan en el suelo y productos de su metabolismo, así como también los aportes orgánicos externos, por ejemplo estiércoles y compost (Labrador, 2001). Esta descomposición se entiende como

el proceso bioquímico de simplificación de los residuos que están en el suelo llevado a cabo por microorganismos, que resulta en una reducción de las cadenas de los compuestos químicos constituyentes de los residuos orgánicos. Este proceso puede ocurrir en diferentes intensidades dependiendo de la complejidad del material orgánico y de las condiciones biofísicas presentes que promuevan la actividad metabólica de los microorganismos del suelo. La vía opuesta a la descomposición también ocurre, y es que los compuestos degradados pueden ser “reorganizados” en nuevos compuestos orgánicos, seguido de su consolidación en compuestos orgánicos más estables. El concepto de estabilidad se relaciona con una mayor dificultad de descomposición.

Desde este punto de vista, la materia orgánica está formada por varios componentes con funciones definidas y que interactúan entre sí. Los macro y microorganismos del suelo junto con las raíces conforman la parte viva de la materia orgánica, y aunque solo alcanzan alrededor del 5% de la materia orgánica total, son el motor transformador en el suelo. La parte inerte de la materia orgánica (aproximadamente el 95%) está constituida por compuestos orgánicos en diferentes estados de descomposición, y es la que mejora las propiedades físicas del suelo y su fertilidad (Figura 7.1). La materia orgánica lábil es de descomposición reciente (dos a 18 meses aproximadamente en clima templado) y es el sustrato a partir del que se forman compuestos más complejos, mientras que la materia orgánica estable -compuestos orgánicos no humificados de descomposición avanzada, y el humus del suelo (compuestos químicamente complejos y no identificables por métodos mecánicos), forma parte del suelo.

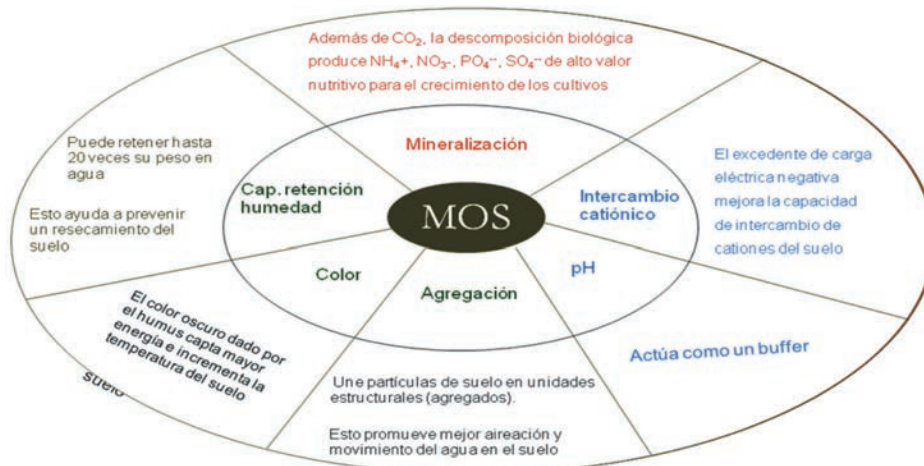


Figura 7.1. Algunas de las funciones y beneficios de la materia orgánica del suelo (MOS)

El elemento más abundante en la materia orgánica es el carbono (C), y se considera que en suelos agrícolas éste constituiría alrededor del 58% del peso de los compuestos orgánicos presentes. Por ello es que a veces en términos generales se habla del ciclo de C para referirse a la materia orgánica. La materia orgánica contiene también una cantidad importante de azufre (S) respecto al total del suelo. Más del 90% del azufre del suelo se encuentra en formas orgánicas (por ejemplo, sulfato, colina, sulfolípidos, ácidos sulfónicos, aminoácidos y polisacáridos sulfatados). La clasificación tradicional de estos compuestos es de acuerdo a la unión que se produce entre el S y el C (como en los aminoácidos azufrados) o el S y el oxígeno (como en los ésteres sulfatos). Estas formas orgánicas no son absorbibles por las plantas pero a través del proceso de mineralización llevado a cabo por microorganismos y enzimas del suelo, algunos de los componentes orgánicos son químicamente simplificados y como resultado se liberan formas minerales o inorgánicas del S a la solución del suelo. El ion sulfato es la forma azufrada cuantificable de la mineralización y es también la forma mineral absorbida por las raíces de las plantas.

Cuando los microorganismos realizan esta acción de descomposición, parte del compuesto sobre el que actúan se transforma en un compuesto distinto o más simplificado, y como resultado de este metabolismo la población microbiana libera dióxido de carbono (CO_2) y aumenta en número. Es por ello que la masa total de microorganismos en el suelo (biomasa microbiana) y su actividad determinan la tasa de mineralización de los nutrientes contenidos en la materia orgánica del suelo, como el azufre (S). Aunque la proporción de biomasa microbiana respecto a la materia orgánica total está en el orden de 3%, su rol en la dinámica de transformación del azufre es fundamental. Al igual que las plantas, los microorganismos también pueden absorber S disuelto de la solución del suelo para suplir sus necesidades metabólicas (inmovilización). El balance neto entre ambos procesos determina la cantidad de S mineral disponible en el suelo. La medición del S contenido en la biomasa microbiana constituye un indicador biológico de la condición que existe en el suelo para procesar componentes orgánicos relacionados con la dinámica de transformación del S en el suelo, y su potencial disponibilidad.

Algunos ejemplos de las relaciones entre la materia orgánica del suelo, dado por los contenidos orgánicos de C, N, y S (contenido total menos el contenido mineral o disponible), y el tamaño de la biomasa microbiana están dados en el Cuadro 7.1. Estos datos han sido extraídos del trabajo de Knights *et al.* (2001), para cuantificar el efecto de diferentes condiciones de manejo de fertilización sobre las cantidades netas de S en el suelo. Se observa que en ecosistemas naturales de bosque y pradera que tienen un mayor contenido de MOS (C-org), promueven una mayor disponibilidad de S y N, que es casi tres veces más alto que el contenido de S disponible en monocultivo de trigo sin aplicaciones de fertilización completa o estiércol. También se demuestra que el manejo agronómico que incluye aplicaciones de MO tipo estiércol al suelo, es el que más puede acercarse a valores de sistemas naturales ideales.

Suelo	pH	C-org	N-total	N min	S-total	C:S	S-disp	C-biom	S-biom
	(H ₂ O)	mg g ⁻¹		m kg ⁻¹			m kg ⁻¹		
Trigo (monocultivo)									
Control	8,0	8,2	1,0	7,5	171	49	3,4	161	2,8
N	7,9	9,3	1,2	9,5	201	47	3,0	196	3,3
NPKMgS	7,9	10,2	1,2	6,7	194	54	5,7	210	3,7
Estiércol	7,6	26,6	2,5	11,5	521	52	4,3	416	8,5
Ecosistemas naturales									
Pradera	7,4	32,6	3,2	56,3	494	67	9,6	526	8,8
Bosque	7,2	43,3	3,4	52,2	542	83	17,8	667	13,0

Cuadro 7.1. Propiedades del suelo en un agro-ecosistema de cultivo de trigo bajo diferentes tipos de fertilización, comparado con ecosistemas naturales.

CICLOS INTERNOS DEL NITRÓGENO Y AZUFRE EN EL SUELO

Mineralización e inmovilización de nitrógeno

El ciclo del nitrógeno (N) en el suelo es una parte integrante del ciclo global del N y se deriva originalmente del gas N₂ atmosférico. Los microorganismos del suelo, sean de vida libre o asociados simbióticamente con plantas, fijan N₂ formando N orgánico a la forma de grupos aminos, -NH₂, en las proteínas. Este N pasa entonces a formar parte de la materia orgánica (MO) del suelo (Rowell, 1996). Una característica principal del ciclo interno del N es su transformación continua desde la fase orgánica (N insoluble) a la fase inorgánica o mineral (N soluble) a través de los procesos de mineralización e inmovilización respectivamente, y realizados por la biomasa microbiana (Jansson and Persson, 1982). Ambos procesos ocurren simultáneamente en el suelo, en relativamente pequeños volúmenes del mismo. Como un resultado de la naturaleza simultánea y pequeña escala de estos procesos, es importante distinguir entre mineralización e inmovilización bruta y neta. Mineralización bruta de N es la cantidad total de N soluble producida por los microorganismos, e inmovilización bruta de N es la cantidad total de N soluble consumida. La mineralización neta de N es el balance entre las dos (Jansson and Persson, 1982; Robertson and Groffman, 2007). Cuando la mineralización bruta excede la inmovilización bruta, el N del suelo aumenta (hay mineralización neta). Cuando la inmovilización bruta excede la mineralización bruta, el N inorgánico del suelo disminuye (hay inmovilización neta). Todos los organismos heterotróficos que consumen materiales orgánicos para su energía y C, inmovilizan y mineralizan N como subproducto.

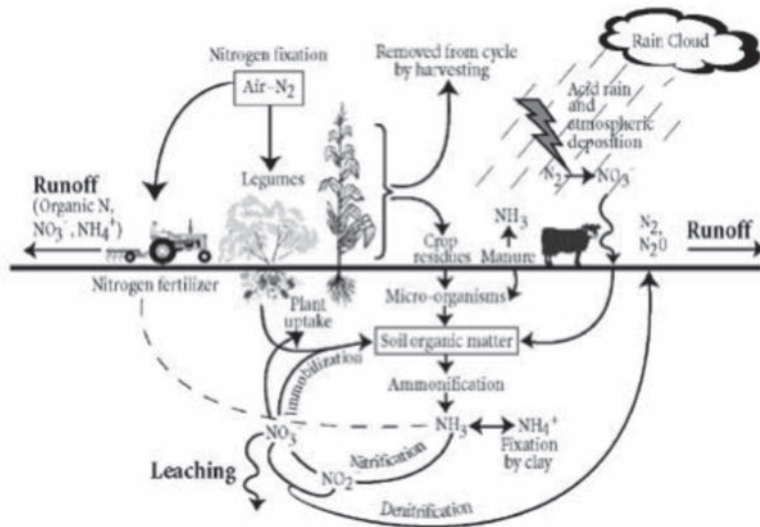


Figura 7.2. El ciclo del nitrógeno en agroecosistemas (Stevenson, 1996)

Por otro lado, el balance entre estos procesos de mineralización e inmovilización de N depende, principalmente, de la calidad de la materia orgánica, esto es, la disponibilidad de carbono en el material en relación a su N disponible. Este balance es también afectado por la eficiencia de crecimiento del organismo. Así, los hongos tienen una relación C:N más alta en sus tejidos que las bacterias, y por lo tanto tienen una necesidad menor de N y por ello mineralizarán N más rápidamente (Robertson and Groffman, 2007). Como una regla general, se puede establecer que materiales con una relación C:N > 25:1 estimulan la inmovilización; mientras que aquellos con una relación C:N < 25:1 estimulan la mineralización. Una excepción a esta regla la constituyen sustancias altamente descompuestas con una relación C:N baja; por ejemplo, la MO del suelo (humus o compost) en la cual el C y N lábil han sido agotados, y el C remanente está en formas complejas e inherentemente resistente a la descomposición y consecuentemente, resistente a la mineralización (Stevenson and Cole, 1999).

La determinación de los flujos de mineralización e inmovilización netos es más fácil y común que la determinación de los flujos brutos. Los flujos netos implican la cuantificación de cambios en los niveles de N inorgánico del suelo, a través de algún tipo de técnica de incubación (10; 30 días, a varias semanas) y extracción periódica de N inorgánico (Robertson et al., 1999). Los flujos brutos se cuantifican usando métodos de dilución isotópica, donde pequeñas cantidades de ^{15}N de amonio marcado se agregan al suelo y la subsecuente dilución del reservorio marcado es usado como una base para calcular la producción bruta y consumo de amonio (Davidson et al., 1991; Bengtsson et al., 2003).

Mineralización e inmovilización de azufre.

Las formas orgánicas de azufre se clasifican en dos grandes tipos: las uniones con el carbono (C-S) que constituyen hasta un 30% del S orgánico total; y las uniones ésteres de sulfato (C-O-S; C-N-S; N-O-S) en un rango de 35-75%. Por otro lado, la biomasa microbiana (2-3% del S orgánico total) es la principal fuerza conductora de las transformaciones del azufre (S) del suelo. La actividad de los organismos del suelo implican procesos de mineralización e inmovilización, similares a aquellos del N; y oxidación y reducción, principalmente de sustratos inorgánicos de azufre (Plante, 2007).

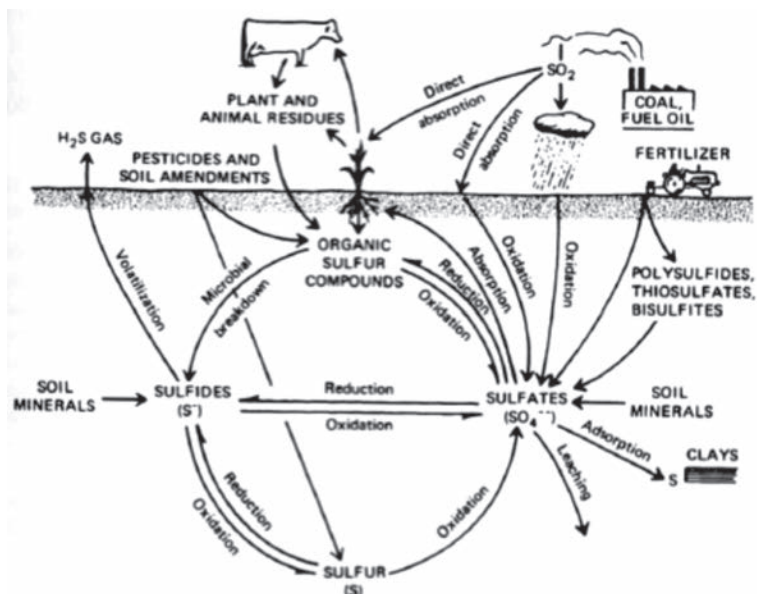


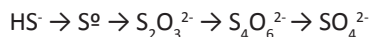
Figura 7.3. El ciclo del azufre en agroecosistemas (Stevenson, 1996)

Según McGill y Cole (1981), la mineralización de azufre comprende dos procesos diferentes: una biológica y la otra de tipo bioquímica. La primera, se produce de la necesidad de los organismos por C orgánico para generar energía, liberando sulfato como subproducto. En la mineralización bioquímica, el sulfato se libera de la unión éster-sulfato a través de hidrólisis enzimática, y por lo tanto este proceso es controlado por la disponibilidad de azufre más que la necesidad por energía. Así, cuando la demanda de sulfato inorgánico por los microorganismos del suelo no puede ser satisfecha, las enzimas sulfatasas hidrolizarán ésteres sulfato y, por el contrario, altos niveles de sulfato inhibirán la mineralización biológica (Eriksen, 2009).

La cuantificación de los flujos de mineralización e inmovilización brutas de azufre, usando técnicas de dilución isotópicas, como en el caso del N, han sido también usadas (por ejemplo, ³⁵S), pero son menos frecuentes en la literatura (Eriksen, 2005).

Oxidación y reducción de azufre

La oxidación de formas reducidas de azufre inorgánico en el suelo ocurre por la vía química o biológica. La oxidación biológica, en condiciones aerobias, es realizada principalmente por organismos heterótrofos y autótrofos (lo más probable por una mezcla de estas poblaciones) y todo el proceso puede ser representado por la siguiente secuencia de reacciones (Plante, 2007):



(Sulfuro de H → Azufre → Tiosulfato → Tetrionato → Sulfato)

El género *Thiobacillus* representa los organismos autótrofos clásicos que oxidan azufre. Todas las especies de este género son capaces de obtener energía de la oxidación aerobia de S inorgánico. La mayoría de las especies son aerobios obligados pero existen algunas que pueden crecer en condiciones anaerobias como *T. denitrificans* usando el nitrato como aceptor terminal de electrones. Esta condición de autótrofos obligados o facultativos implica que son capaces de oxidar S independiente del suplemento de C disponible. El aislamiento de estos organismos desde suelos agrícolas es difícil, y la correlación entre el flujo de oxidación de S, y la presencia de thiobacilos no es consistente. Sin embargo, estos flujos son generalmente bajos cuando hay ausencia de estos organismos (Plante, 2007).

La oxidación de azufre es también realizada por organismos heterótrofos, e incluye géneros de bacterias, algunos actinomicetos y también hongos. Este tipo de organismos del suelo han sido divididos en aquellos que oxidan S⁰ primariamente y producen tiosulfato (los más abundantes); otros que oxidan S⁰ a sulfato como subproducto; y aquellos que son capaces de oxidar tiosulfato a sulfato (Lawrence y Germida, 1991).

Como referencia, algunos valores de la capacidad de oxidación de S en distintos tipos de suelos de la Región del Bío Bío son mostrados en el Cuadro 7.2. Se observa que la serie Santa Bárbara, de origen volcánico, se encuentra en el rango de baja capacidad de oxidar el S, respecto a los otros suelos.

La reducción de formas oxidadas de S, especialmente sulfatos, por lo microorganismos del suelo ocurre por dos vías. La primera, en un proceso conocido como reducción asimiladora, o *inmovilización* como se ha descrito anteriormente, en la cual el S es incorporado a constituyentes celulares que contienen S, como los aminoácidos. En la otra, la reducción del sulfato, en condiciones anaerobias, conduce a la formación de sulfuro (por ejemplo, ácido sulfhídrico, H₂S), proceso conocido como reducción no asimiladora, o reducción respiratoria del sulfato. Este proceso es similar a la desnitrificación, pero en este caso el sulfato actúa como aceptor terminal de electrones. Este proceso no es relevante en suelos

agrícolas bien aireados (a excepción de micrositios anaerobios que puedan existir en ellos), pero es un componente principal del ciclo del S en suelos inundados o en la producción de arroz inundado (Germida et al., 1992).

Serie de suelos*	mg SO ₄ - kg ⁻¹ día ⁻¹
Diguillín	3,44
San Carlos	2,85
Cauquenes	1,35
Santa Bárbara	0,61
Collipulli	0,45

Cuadro 7.2. Capacidad de oxidación de S en diferentes tipos de suelos de Bío Bío

CUANTIFICACIÓN DE LAS FRACCIONES RELEVANTES DEL CICLO DEL S EN EL SUELO

La concepción del ciclaje (turnover) de un nutriente y su consecuente utilidad en la interpretación de lo que ocurre en un agroecosistema, debe establecer componentes principales de almacenaje del elemento en formas definidas, y los flujos de intercambio entre los componentes definidos. Sin embargo las cantidades del elemento y los flujos que establecen la proporción de recambio de los componentes, están determinados por las condiciones imperantes del sistema productivo en particular. De esta manera aquellos factores que inciden en los aportes de materia orgánica en el suelo, los factores que determinan la actividad microbiana, y aquellos que influyen en las pérdidas del elemento, determinarán el balance de un nutriente en particular.

En el caso del S existen dos tipos de aproximación a la concepción del ciclaje de S en el suelo: uno que tiene que ver con la composición química de los compuestos orgánicos, y el otro basado en la forma en que se relaciona la materia orgánica con la estructura del suelo (Eriksen, 2009). El primero, describe los componentes y flujos en función de la resistencia de los compuestos azufrados a la descomposición (Figura 7.4 a). Para ello se aprovecha la reactividad del S orgánico cuando es reducido con HI (ácido yodhídrico). Experimentalmente, el suelo inicialmente se lixivia con una solución de fosfato para remover sulfato inorgánico. El suelo lixiviado es luego tratado con HI; el S recuperado como H₂S correspondería a sulfatos del tipo éster; y el no reducido a uniones del S con el C. Este S puede después ser separado en dos fracciones, basado en su capacidad a ser o no reducido con níquel Raney (catalizador sólido compuesto por granos muy finos de una aleación de níquel-aluminio) (Stevenson and Cole, 1999).

En cambio, el segundo enfoque apunta primeramente a separar materia orgánica asociada en diferentes niveles a los agregados del suelo (Figura 7.4 b). Se ha demostrado que la protección física del S orgánico, causada por la agregación de suelo, juega un rol importante en el ciclaje del S del suelo (Eriksen et al., 1995a). Esta protección física del S se refiere a la exclusión del elemento de la acción de los organismos del suelo, al interior de los agregados estables al agua, y consecuentemente, con una tasa de degradación lenta (Eriksen, 1997). La determinación de esta fracción es realizada a través de una técnica de dispersión-extracción, donde se obtiene el S protegido extrayéndolo con acetil acetona después de una dispersión con ultrasonido (Eriksen et al., 1995b). Este último enfoque es el que este estudio intenta utilizar, porque se acerca más a la condición en que se encuentra el suelo en el campo, afectado por el manejo agronómico.

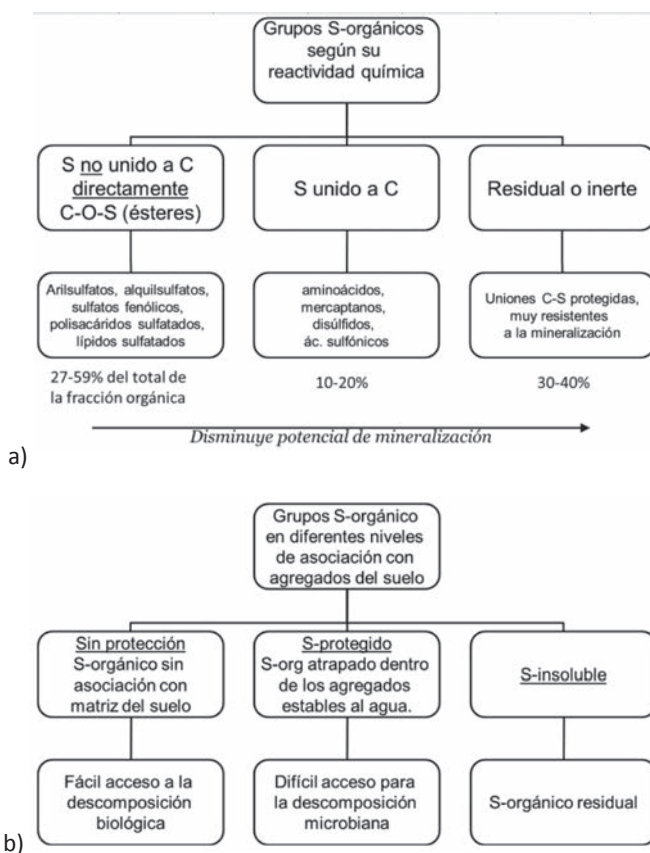


Figura 7.4. Modelos de representación del ciclaje del azufre orgánico en el suelo, de acuerdo a un criterio resistencia química a la descomposición (a), y uno que enfatiza la protección física contra la descomposición de la materia orgánica (b).

Sulfato en el suelo

El ión sulfato ($S-SO_4^{-2}$) es la forma inorgánica predominante y químicamente más estable del S en suelos aireados, es producto terminal de la oxidación de los compuestos azufrados, y es la forma disponible para la absorción por las plantas. En sistemas agrícolas donde el sistema productivo promueve condiciones aeróbicas en el suelo, la concentración de sulfato cambia durante el año debido a los cambios en el balance entre aportes atmosféricos de S, la descomposición de residuos de cultivo, la aplicación de fertilizantes, la lixiviación, la absorción por las plantas, y la actividad microbiana. Así, los niveles de $S-SO_4^{-2}$ son generalmente más bajos durante el invierno, debido a una mayor lixiviación y absorción por las plantas, y a una baja tasa de mineralización asociada a bajas temperaturas.

El sulfato se encuentra como una sal soluble en agua, y adsorbido a componentes minerales coloidales del suelo. La suma de ambos es el llamado azufre disponible para las plantas, y el análisis de su concentración implica una extracción con una solución específica (di-hidrógeno fosfato de calcio), seguida de una determinación colorimétrica o cromatografía del sulfato extraído por la solución. Tanto el método colorimétrico (usando azul de metileno), como el de cromatografía iónica, son los que ofrecen mejor recuperación de sulfato en soluciones saturadas en presencia de Al (condición de suelo volcánico) y son más precisos y exactos que el método turbidimétrico y el de espectroscopía indirecta de absorción atómica (Ajwa y Tabatabai, 1993), usados por su rapidez y simplicidad.

Sin embargo, la aplicación de estos métodos presenta una alta variabilidad, por lo que no son los más confiables. Así fue observado, por ejemplo, al analizar el azufre disponible por el método turbidimétrico, cuyo resultado arrojó valores de $4 \text{ mg kg suelo}^{-1}$ en el laboratorio INIA Tamel Aike, mientras que la misma muestra (0-5 cm) resultó en $10 \text{ mg kg suelo}^{-1}$ en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía en Chillan, ambos usando el mismo protocolo definido por la CNA de suelos de Chile. Esta ambigüedad de resultados aplicando el método turbidimétrico clasifica a la muestra tomada en el Valle de Simpson con un nivel deficiente de S y con un nivel medio de S. Este tipo de errores conlleva no sólo a la una imprecisión en la recomendación de fertilización del suelo, sino también a una sub/sobre estimación de la contribución de los *pools* o componentes del suelo que contribuyen a la disponibilidad del $S-SO_4^{-2}$ cuando se estudia la fertilidad del azufre.

En términos de experimentación y análisis del ciclo orgánico del S en el suelo, el $S-SO_4^{-2}$ es la forma química a la que se oxidan todas las formas azufradas para la cuantificación de la mayoría de los componentes que juegan un papel importante en el estudio del flujo del S en el suelo. Por ello es importante contar con una determinación precisa y exacta

del contenido de $S-SO_4^{-2}$, que se ajuste a la condición volcánica de los suelos de la región de Aysén. El sulfato soluble proveniente de procesos biológicos se extrae comúnmente con una sal de cloro, por ejemplo $CaCl_2$ o $LiCl$. Éste último tiene la ventaja de disminuir o detener la actividad microbiana, lo que constituiría una ventaja en suelos volcánicos donde la población microbiana puede presentar altos valores de actividad biológica.

Una primera experiencia de uso de estos extractantes en el suelo de pradera naturalizada, no mostró mayores diferencias en los resultados obtenidos ($n=5$) para la estrata superficial 5-10 cm, donde $S-SO_4^{-2}$ extraído con $LiCl$ alcanzó $7,41 (\pm 2,13) \mu g g^{-1}$ y $6,05 (\pm 1,44) \mu g g^{-1}$ con $CaCl_2$. Sin embargo futuras experiencias aplicando un diseño estadístico podrían confirmar la significancia ($P \leq 0,05$) de estos resultados.

DISPONIBILIDAD DE AZUFRE Y MATERIA ORGÁNICA EN EL ECOSISTEMA DEL VALLE SIMPSON

Materia orgánica y disponibilidad de S en suelos volcánicos del Valle Simpson.

En los suelos volcánicos del valle de Simpson los niveles de materia orgánica son altos (sobre 11%, cuadro 7.3) comparados con otros suelos agrícolas (alrededor de 2-4%, ejemplo cuadro 1), valores específicos y actualizados de carbono y materia orgánica pueden ser revisados en el capítulo 5 de esta publicación. Esto indicaría un suministro natural de azufre en la solución del suelo para absorción por los cultivos, así como fue reportado por Schenkel (1973) hace 40 años, quien informaba que el S era el segundo elemento más deficitario en la Región de Aysén. En el presente, los niveles de sulfato detectados son deficientes en varios sistemas productivos (bajo $5 mg S-SO_4^{-2} kg\ suelo^{-1}$, cuadro 7.3), incluyendo suelos agrícolas, suelos ácidos, y de estepa (alrededor de $2,4 mg S-SO_4^{-2} kg\ suelo^{-1}$, $1,3 mg S-SO_4^{-2} kg\ suelo^{-1}$ y $0,32 mg S-SO_4^{-2} kg\ suelo^{-1}$, respectivamente, en los 5 cm superficiales de suelo).

Las deficiencias de S observadas en suelos volcánicos del valle Simpson ($<5 ppm S$ -disponible) no se producen por un bajo nivel de materia orgánica del suelo. Es de interés entonces conocer el estado y tamaño de los componentes de la materia orgánica para determinar de qué manera ellas, o los factores abióticos condicionantes de sus funciones, podrían limitar las cantidades de S mineralizado hacia la solución del suelo, o si las deficiencias están determinadas por la intensidad de los mecanismos de pérdidas de S soluble de la zona de absorción radical.

Condición de suelo	Profundidad	pH	Mat. org.	N-disponible	S-disponible
	(cm)		(%)	- mg kg ⁻¹ -	
Pradera naturalizada	0-5	6,32	22,2	25,0	2,76
	5-10	6,24	11,5	10,0	2,67
Bosque	0-5	6,05	33,0	56,0	0,26
	5-10	6,01	16,2	32,0	0,28
Valle	0-5	6,03	19,8	31,0	2,42
	5-10	6,12	16,7	27,0	2,51
Suelo ácido	0-5	5,99	10,9	66,0	1,34
	5-10	5,88	8,25	49,0	0,39
Estepa	0-5	6,39	5,05	14,0	0,32
	5-10	6,38	4,65	28,0	0,00

Cuadro 7.3. Contenidos de materia orgánica y disponibilidad de azufre y nitrógeno de suelos de la zona intermedia de la Región de Aysén, Chile (Laboratorio INIA Tamel Aike).

Si las deficiencias estuvieran condicionadas por una baja tasa de mineralización de S, los factores que determinarían el bajo aporte de S podrían ser por ejemplo factores biofísicos que afectan la actividad microbiana y enzimática del suelo, o el tipo de compuesto orgánico azufrado que contiene la materia orgánica, que resiste en diferentes grados su descomposición (protección física y calidad de la MOS-S). Por ello es que resulta de interés conocer el potencial de mineralización de S de los suelos del valle de Simpson y las fracciones de la materia orgánica, en particular aquellas susceptibles de ser descompuestas.

Estos componentes de la materia orgánica, actividad microbiológica y fracción liviana de la MOS, están siendo determinados en suelos del Valle del Simpson a través del proyecto INNOVA CHILE 11BPC-9975, y los resultados que se presentan a continuación corresponden a los análisis aplicados a la primera estrata del suelo de pradera naturalizada del cuadro 7.3.

Actividad microbiológica de la biomasa microbiana medidas en el Valle Simpson

En la sección *Función y componentes de la materia orgánica del suelo*, se estableció que el C es el elemento más abundante en la MO, y así el C producto de la descomposición de materiales orgánicos lábiles es un índice del estado de actividad de los microorganismos, y con ello también representa la actividad de los microorganismos del suelo en la mineralización de N, P y también de S. La respiración del suelo (en este caso medida como emisión de CO₂) producto de la actividad de los microorganismos, expresa su mayor potencial en las condiciones ideales de humedad (capacidad de campo o 60% de los poros del suelo satu-

rados con agua) y temperatura (25°C). En este experimento se midió la actividad biológica de la estrata 0-5cm del suelo de pradera naturalizada (Cuadro 7.3).

Bajo la condición ideal, los microorganismos del suelo mostraron altos valores de mineralización de C, de aproximadamente 2,5 veces los registrados en un suelo volcánico de la depresión intermedia de Ñuble (Zagal et al., 2002), reflejando así el doble contenido de C que contiene el suelo de pradera naturalizada (Cuadro 7.3), respecto del suelo Ñuble.

Algunas de las condiciones que podrían limitar la actividad de los microorganismos son la temperatura y el contenido de humedad del suelo, porque el pH observado en los suelos en estudio no es restrictivo (Cuadro 7.3). Es por ello que la combinación de estas condiciones fueron simuladas, y se registró la actividad microbiana de mineralización de C bajo dos condiciones de humedad de suelo, 30 y 60% de la capacidad de retención de agua, y temperaturas de 5, 12 y 25°C (Figura 7.5), con el fin de medir esta actividad en un escenario estándar de máxima actividad (25°C) y en los escenarios de clima de la región de Aysén (5 y 12°C). Los incrementos en la actividad de descomposición fue sostenida hasta el día 20, con la tasa de respiración (C por gramo de suelo por unidad de tiempo) más alta a las dos semanas de incubación.

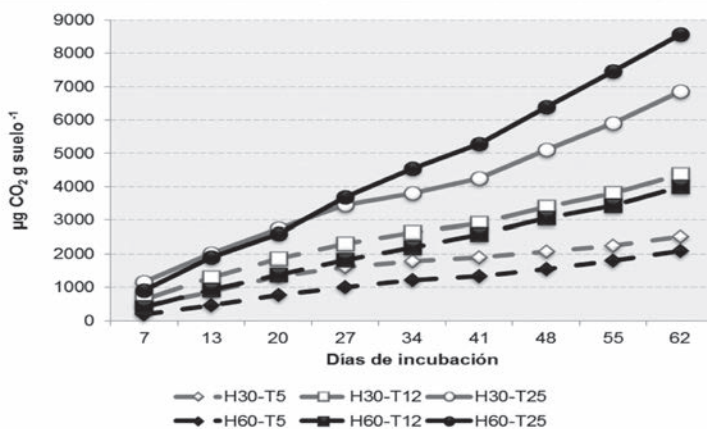


Figura 7.5. Respiración microbiana (dióxido de carbono respirado) en un suelo del Valle Simpson (suelo degradado) resultado de la actividad de descomposición de los microorganismos, bajo diferentes condiciones experimentales de incubación de suelo.

Como se esperaba, la mayor actividad y casi sostenida se produjo con la combinación de las condiciones ideales de incubación (60% H y 25°C). Considerando esta condición como la máxima potencial (100%), el resto de los escenarios de la actividad respiratoria de los microorganismos se ordenó de acuerdo a la restricción en el contenido de humedad y

luego según temperatura (Figura 7.6). Esto sugeriría que una restricción de temperatura podría significar un descenso del 25-35% en la actividad de descomposición, mientras que si los niveles de humedad del suelo se limitan a la mitad del óptimo la disminución de la actividad microbiana se reduciría en un 40 a 90% según la temperatura. Como la temperatura media anual local se acerca más al escenario de 12°C, la mineralización de C estaría mostrando sólo alrededor de un tercio de su potencial (Figura 7.6), aunque de acuerdo a la Figura 7.5, los niveles que se alcanzarían con estos factores limitantes serían aún interesantes.

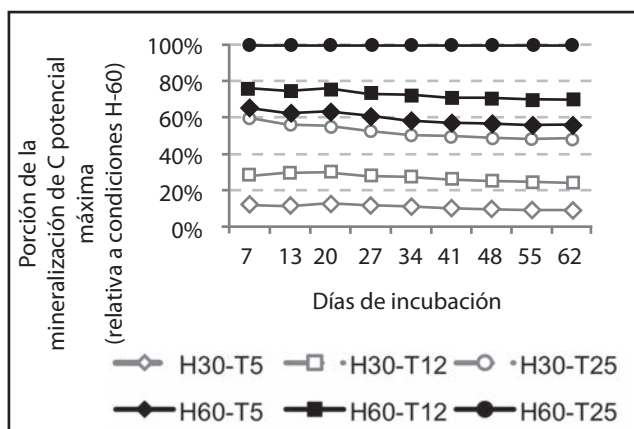


Figura 7.6. Influencia de las condiciones de incubación de suelos que simularían las limitantes a la actividad microbiana en el suelo de pradera naturalizada del Valle Simpson.

Como se estableció en la sección *Ciclo interno del azufre* de este capítulo, una de las particularidades del ciclo del S es que las cantidades mineralizadas de la solución del suelo tienen carácter microbiológico (microorganismos) y bioquímico (enzimas). Ensayos sobre la mineralización biológica específica del S están aún en análisis, pero los resultados de la actividad de arilsulfatasa, una de las enzimas del ciclo del S más conocida, son presentados en la Figura 7.7. Allí se observa un incremento de la mineralización de S hasta las cuatro semanas en condiciones estándares, y luego se registró un descenso en la última medición a los 60 días, aunque por sobre los valores iniciales. En esta última medición fue donde se encontraron valores de actividad de arilsulfatasa que son similares a un suelo Histosol. Las condiciones donde el contenido de humedad o temperatura fueron distintas a las ideales, parecieron favorecer la actividad enzimática (análisis estadístico pendiente), aunque aparentemente la temperatura tendría un efecto más marcado sobre éste parámetro, donde las temperaturas fría y media provocarían una activación enzimática para mineralización de S (Figura 7.7).

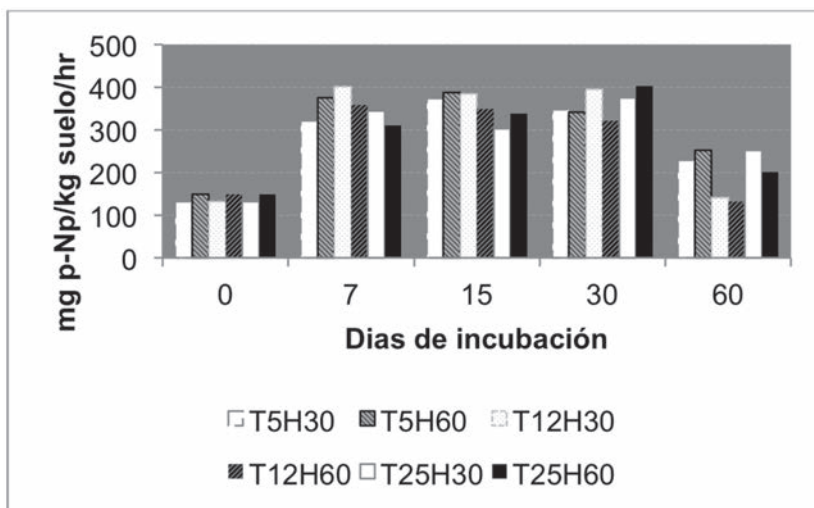


Figura 7.7. Actividad arilsulfatasa en un suelo de pradera naturalizada del Valle Simpson bajo diferentes condiciones experimentales de incubación de suelo.

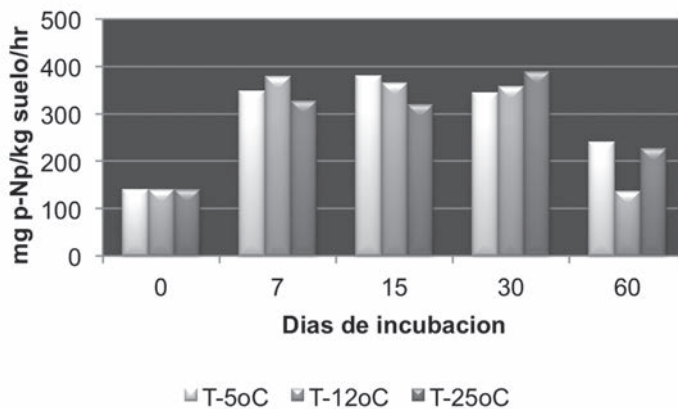


Figura 7.8. Efecto parcial de la temperatura sobre la actividad enzimática arilsulfatasa.

Corrección de deficiencias de azufre en el suelo

La disminución de la fuente de S disponible para la nutrición de los cultivos puede ser restituida directamente a través de una fuente fertilizante mineral, y en el caso de los suelos volcánicos de la zona intermedia de la región de Aysén, los fertilizantes más utilizados son el azufre elemental, aunque también se usan formas más solubles, como sulfatos de potasio, magnesio o calcio, y también el superfosfato normal. Sin embargo, podrían producirse pérdidas por lixiviación si no ocurre una adecuada sincronización entre la demanda de S del cultivo, y la dosis y la época de aplicación de los fertilizantes.

Una de las alternativas más utilizadas la constituye el S elemental –también llamado azufre ventilado-, que es una fuente natural de S cuya particularidad es que posee una carga intermedia (S^0) oxidable por bacterias específicas que habitan en el suelo, *Thiobacillus thiooxidans*.

Es por ello, que se midió el efecto de la aplicación de este tipo de enmienda (S ventilado) sobre la mineralización de S al suelo, donde se aplicaron $100 \text{ kg de } S^0 \text{ ha}^{-1}$ y se comparó con lo que sucede en un suelo sin aplicación de esta fuente fertilizante (Figura 7.9).

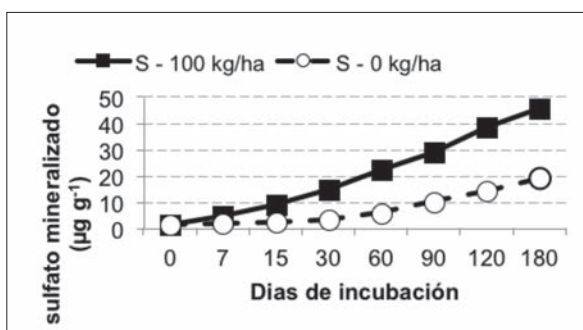


Figura 7.9. Mineralización del azufre elemental aplicado

Se comprobó el aumento de la disponibilidad de S, y el efecto acumulado se registró a los seis meses de su aplicación, aunque la mayor tasa de oxidación de S ($0,44 \text{ mg SO}_4^{-2} \text{ kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$) se registró a los 15 días. El aporte neto al final de los 180 días del experimento fue de alrededor de $27 \text{ mg SO}_4^{-2} \text{ kg}^{-1}$, mientras que la tasa de oxidación fue promedio fue de $0,29 \text{ mg SO}_4^{-2} \text{ kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$, para todo el periodo. Otros suelos volcánicos muestran tasas de $0,61$ y $3,44 \text{ mg SO}_4^{-2} \text{ kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ bajo condiciones ideales.

Pérdidas de azufre por lixiviación

Además de ser absorbido por las raíces e inmovilizado por los microorganismos, el nivel de sulfato disponible se ve afectado por la cantidad de materia orgánica y las condiciones de su descomposición, la deposición de S atmosférico, la aplicación de fertilizante azufrado, el escurrimiento superficial, y por la intensidad del proceso de lixiviación, principal pérdida de S en suelos que no reciben la aplicación de S (Eriksen *et al.*, 2002).

En particular, el proceso de lixiviación de sulfato constituiría una de las pérdidas más importantes en suelos de esta región, ya que a pesar de las repetidas aplicaciones de fertilizantes azufrados al suelo, los niveles de S siguen siendo bajos. Esto estaría explicado por la alta solubilidad del sulfato que sería arrastrado con facilidad por el agua de infiltración. La intensidad de la lixiviación de S hacia estratas más profundas depende del nivel de precipitaciones en la zona, pero también depende de las propiedades del suelo como la capacidad de retención de sulfato por la matriz del suelo. Por ello es que labores agronómicas deben enfocarse al manejo de fuentes, dosis, y parcializaciones de fertilizantes azufrados, para sincronizar la oferta de S en el suelo con las épocas de demanda del cultivo o pradera y evitar que excesos de S-sulfato se pierdan en profundidad. Experimentos para concluir en este respecto están siendo analizados para comprobar esta hipótesis.

CONCLUSIONES

La actividad microbiana en suelos de la zona intermedia occidental patagónica estaría limitada primeramente por las bajas temperaturas. Con temperaturas medias de 12°C, reflejaría un 70-80% de la mineralización potencial del suelo en condiciones de humedad ideal, mientras que bajo condiciones limitantes de humedad de suelo la actividad microbiana mostraría sólo un tercio de su potencial.

La enzima arilsulfatasa disminuye su actividad después de 30 días, registrando menores contribuciones al S mineralizado a los 60 días. La temperatura local de 12°C parecería activar esta enzima, cuyos valores corresponderían a aquellos de suelos orgánicos.

Preliminarmente, existiría una asociación entre el S y el C mineralizado. El suelo de pradera naturalizada presentó una alta mineralización de S durante el periodo estudiado, con la mayor actividad registrada a los 15 días.

La aplicación de S-elemental aumentó la cantidad de S mineralizado, aunque este aporte parece menor que el registrado en otros suelos volcánicos.

El aporte de S de la materia orgánica parece entregar un nivel adecuado de suministro de S al *pool* soluble del suelo, por lo que es de importancia determinar el S lixiviado (pérdida) para explicar las deficiencias de S observadas en estos suelos.

ESTUDIOS EN CURSO

Además de los resultados descritos, existen otros aspectos del particular ciclaje del S en suelos de Aysén. Entre ellas están, la determinación de las pérdidas de S por lixiviación y por otro lado se busca cuantificar algunos componentes orgánicos lábiles (en primera instancia) y totales de la materia orgánica relacionados tanto con el S como el N y C. Ello permitiría el acercamiento a la evaluación general del balance del S disponible en estos suelos. También se busca evaluar el efecto de diferentes fuentes fertilizantes de S para afinar las recomendaciones a los agricultores de la zona.

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

Bengtsson, G., Bengtson, P. and K. F Månsson. 2003. Gross nitrogen mineralization-, immobilization-, and nitrification rates as a function of soil C/N ratio and microbial activity *Soil Biology & Biochemistry* 35 (2003) 143–154

Davidson, E. A., Hart, S. C., Shanks, C. A. and Firestone, M. K. 1991. Measuring gross nitrogen mineralization, and nitrification by ¹⁵N isotopic pool dilution in intact soil cores. *Journal of Soil Science*, 42: 335–349. doi: 10.1111/j.1365-2389.1991.tb00413.x

Eriksen, J., Lefroy, R. D. B., and Blair, G. J. 1995a. Physical protection of soil organic sulfur studied by extraction and fractionation of soil organic matter. *Soil Biology & Biochemistry* 27, 1011–1016.

Eriksen, J., Lefroy, R. D. B., and Blair, G. J. 1995b. Physical protection of soil organic sulfur studied using acetylacetone at various intensities of ultrasonic dispersion. *Soil Biology & Biochemistry* 27, 1005–1010.

Eriksen, J. 1997. Sulphur cycling in Danish agricultural soils. Turnover in organic S fractions. *Soil Biology & Biochemistry* 29, 1371–1377.

Eriksen, J. 2005. Gross sulphur mineralisation–immobilisation turnover in soil amended with plant residues. *Soil Biology & Biochemistry* 37, 2216–2224.

Eriksen, J. 2009. Soil Sulfur Cycling in Temperate Agricultural Systems. In: *Advances in Agronomy* (ed. D. L. Sparks), Volume 102. pp 55-89. Elsevier, NY.

Germida, J. J., Wainwright, M., and Gupta, V. V. S. R. 1992. Biochemistry of sulfur cycling in soil. In 'Soil Biochemistry' (eds. G. Stotzky and J.-M. Bollag), 7, pp. 1–53. Marcel Dekker, New York.

Jansson, S. L. and Persson, J. 1982. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: *Nitrogen in Agricultural Soils* (ed. F. J. Stevenson), pp. 229-252. American Society of Agronomy Monograph N° 22, Madison.

Lawrence, J. R., and Germida, J. J. 1991. Enumeration of sulfur-oxidizing populations in Saskatchewan agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science* 71, 127–136.

McGill, W. B., and Cole, C. V. 1981. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. *Geoderma* 26, 267–286.

Plante, A. F. 2007. Soil biogeochemical cycling of inorganic nutrients and metals. In: Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry (ed. E. A. Paul, third edition), pp. 389-432. Academic Press, Oxford.

Robertson, G. P., Wedin, D. A., Groffman, P. M., Blair, J. M., Holland, E., Harris, D., and Nadelhoffer, K. 1999. Soil carbon and nitrogen availability: nitrogen mineralization, nitrification, and soil respiration potentials. In "Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research" (eds. G. P.

Robertson, C. S. Bledsoe, D. C. Coleman, and P. Sollins,), pp. 258–271. Oxford Univ. Press, NY.

Robertson, G. P and Groffman, P. M. 2007. Nitrogen transformations. In: Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry (ed. E. A. Paul, third edition), pp. 341-364. Academic Press, Oxford.

Rowell, D. L. 1996. Soil Science: Methods and Applications. Addison Wesley Longman Limited, Essex. pp. 350.

Stevenson, F. J. and Cole, M. A. 1996. Cycles of Soil. Second edition. John Wiley and Sons, Inc., NY. pp. 427.

8. DISTRIBUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN PRODUCTIVA DE LOS SUELOS DE INTERÉS AGROPECUARIO DE LA REGIÓN DE AYSÉN

Christian Hepp K. y Roberto Stuardo T.
Centro de Investigación INIA Tamel Aike
Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Coyhaique, Región de Aysén, Patagonia Occidental

INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos principales de este trabajo ha sido la definición de valles de interés agropecuario para todo el territorio de la región de Aysén. Dichos valles se encuentran delimitados y se ha reunido la información de climas, ecorregiones, suelos y vegetación en cada uno de los casos. Igualmente, a través de herramientas cartográficas y la generación de un sistema de información geográfica, se conocen las superficies involucradas y, al cruzar las diferentes capas de información, junto con los antecedentes de uso actual, se establece un desglose múltiple que permite estimar posibles desarrollos para llegar a potenciales productivos en diferentes sectores.

Lo anterior permite establecer escenarios de mejoramiento en cada caso, que en esta oportunidad se ha centrado en la capacidad de sustentación animal, o carga animal, factible de lograr al incorporar tecnología y manejo adecuado. Se puede entonces establecer una relación entre la situación actual y la situación potencial, ya que resulta interesante conocer las posibilidades de desarrollo de diferentes zonas, las que difieren en términos de sus limitaciones agroclimáticas y condiciones generales. En este capítulo se pretende resumir y consolidar la información obtenida a nivel de valles, llevándola al nivel regional.

SUPERFICIE DE INTERÉS AGROPECUARIO EN AYSÉN

La región de Aysén tiene una superficie total de 10,85 millones de ha. Gran parte de esa superficie corresponde a categorías sin uso agropecuario, e incluso forestal, ya que se trata de glaciares, hielos y zonas nivales sobre el límite vegetacional, además de una gran cantidad de suelos de protección, muchos de ellos cubiertos de bosque nativo. Una proporción significativa se encuentra bajo el sistema nacional de áreas silvestres protegidas de la Corporación Nacional Forestal (SNASPE, Conaf). El SNASPE en la región de Aysén incluye 19 unidades entre parques nacionales, reservas nacionales y monumentos naturales, que en su conjunto representan el 48% de la superficie regional (5,2 millones de ha).

De esta forma, la superficie que finalmente se puede considerar con fines *potencialmente* productivos silvoagropecuarios es bastante reducida y alcanza a alrededor de 1,5 millones de hectáreas, lo que representa el 13,8% de la superficie regional. Estas cifras se analizan más en detalle a continuación, en base a la información generada en cada uno de los valles de interés agropecuario de la región.

Para la delimitación de cada valle se consideraron las categorías de capacidad de uso de suelos entre III y VII (en Aysén no se clasificaron suelos I ni II). Sin embargo, los cuadros muestran también alguna superficie de protección y de cuerpos de agua y otros, que quedan cautivos dentro de la delimitación del valle, pero que son minoritarios.

El cuadro 8.1 muestra la distribución de clases de capacidad de uso de suelos en las cuatro provincias de la Región de Aysén. En su conjunto, los valles de interés agropecuario considerados en el estudio sumaron 1.571.388 ha a nivel regional. La provincia de Coyhaique tiene el 41% de la superficie, mientras que Capitán Prat, Aysén y General Carrera representan el 23%, 22% y 13%, respectivamente.

Provincia	III	IV	V	VI	VII	VIII	Cuerpos agua	Poblados	Totales
Aysén	327	46.497	35.397	84.349	118.565	44.577	19.253	581	349.547
Coyhaique	1.197	62.524	34.399	373.809	129.981	23.956	14.334	606	640.807
General Carrera	1.418	4.069	19.206	73.189	75.508	25.033	9.657	199	208.279
Capitán Prat	0	10.527	44.503	87.815	136.027	68.866	24.904	113	372.755
Totales	2.943	123.617	133.505	619.162	460.081	162.432	68.148	1.499	1.571.388

Cuadro 8.1. Categorías de capacidad de uso de suelos de Aysén por provincias.

Del total de las 1.571.388 ha mencionadas, hay 232.079 ha en categorías VIII, cuerpos de agua y poblados, lo que deja una superficie efectiva *potencialmente "útil"* de 1.339.309 ha. Sin embargo, como se verá más adelante, parte de esa superficie tampoco tiene uso agropecuario. Otro aspecto interesante es que dentro del total indicado, sólo 126.560 ha son clasificadas en categoría III o IV, es decir son potencialmente arables o cultivables con medios tradicionales. Ello representa el 1,2% de la superficie total regional.

Dentro del desglose, se aprecia también que hay alrededor de 1.500 ha clasificadas como centros urbanos (ciudades, poblados, villas), las que generalmente están ubicadas en suelos de buen potencial, pero que obviamente no tienen uso agropecuario.

El cuadro 8.2 presenta la distribución de suelos y su capacidad de uso a nivel de comunas de la región de Aysén. La comuna de Coyhaique abarca aproximadamente el 25% de la superficie considerada en valles de interés agropecuario, seguida de las comunas de Lago Verde y Cochrane. La comuna de Coyhaique también es la que presenta mayor superficie de clases de capacidad de uso III y IV, con más de 54.000 ha, seguida de la comuna de Cisnes, con cerca de 31.000 ha. En el primer caso se debe especialmente a sectores como Valle Simpson, Cuatro Lagos, Coyhaique Bajo, Alto Valle Simpson, El Claro, entre otros. En el caso de la provincia de Cisnes, esos suelos se concentran en valles como La Junta y La Junta Norte, entre otros.

Comuna	Capacidad de uso suelos								Totales
	III	IV	V	VI	VII	VIII	Cuerpos agua	Urbano	
	Superficie (ha)								
Cisnes	327	30.708	18.951	50.993	55.742	22.402	11.140	84	190.347
Aysén	0	15.788	16.446	33.356	62.824	22.175	8.113	496	159.198
Lago Verde	0	9.613	7.537	149.653	60.117	12.082	5.537	19	244.556
Coyhaique	1.197	52.913	26.862	224.157	69.864	11.875	8.798	588	396.253
Río Ibáñez	146	2.499	15.153	44.277	46.832	22.649	8.272	71	139.899
Chile Chico	1.272	1.570	4.053	28.912	28.676	2.384	1.385	128	68.380
Cochrane	0	9.119	22.516	71.352	93.475	20.983	10.823	81	228.350
Tortel	0	0	11.701	4.269	9.616	4.600	3.132	0	33.318
O'Higgins	0	1.408	10.286	12.194	32.936	43.283	10.949	32	111.087
Totales	2.943	123.617	133.505	619.162	460.082	162.432	68.148	1.499	1.571.388

Cuadro 8.2. Categorías de capacidad de uso de suelos de Aysén por comunas.

En el cuadro 8.3 se ordenan los suelos de todos los valles de interés agropecuario según su capacidad de uso. Al excluir los suelos sin uso silvoagropecuario, queda un total de 1.339.309 ha (clases CUS III a VII). De ellos el 9,4% corresponde a categoría “cultivable” (aunque como se verá más adelante, parte de estos suelos se encuentran cubiertos de bosque y de esa forma no pueden ser intervenidos o habilitados para uso agropecuario) (Figura 8.1).

Un 10% de la superficie es de suelos con limitaciones de humedad, pero donde es posible realizar ganadería, la cual puede potenciarse al incluir obras de drenaje en algunos casos. La proporción mayor de suelos ganaderos la constituye la CUS VI, que en este caso presenta 619.162 ha, con un 46,2% del total de suelos con interés agropecuario (Figura 8.2).

La categoría VII, de suelos preferentemente forestales, en muchos casos permite un uso marginal ganadero, que es habitual en la región de Aysén, particularmente en la zona húmeda, donde el ramoneo de matorrales y quilas es una práctica muy común, sobre todo en períodos invernales. De esta forma, en las estimaciones posteriores se le da una ponderación de uso a esta categoría, aunque existen limitaciones fuertes para ello (Figura 8.3).



Figura 8.1. Suelos de capacidad de uso III y IV en la región de Aysén.

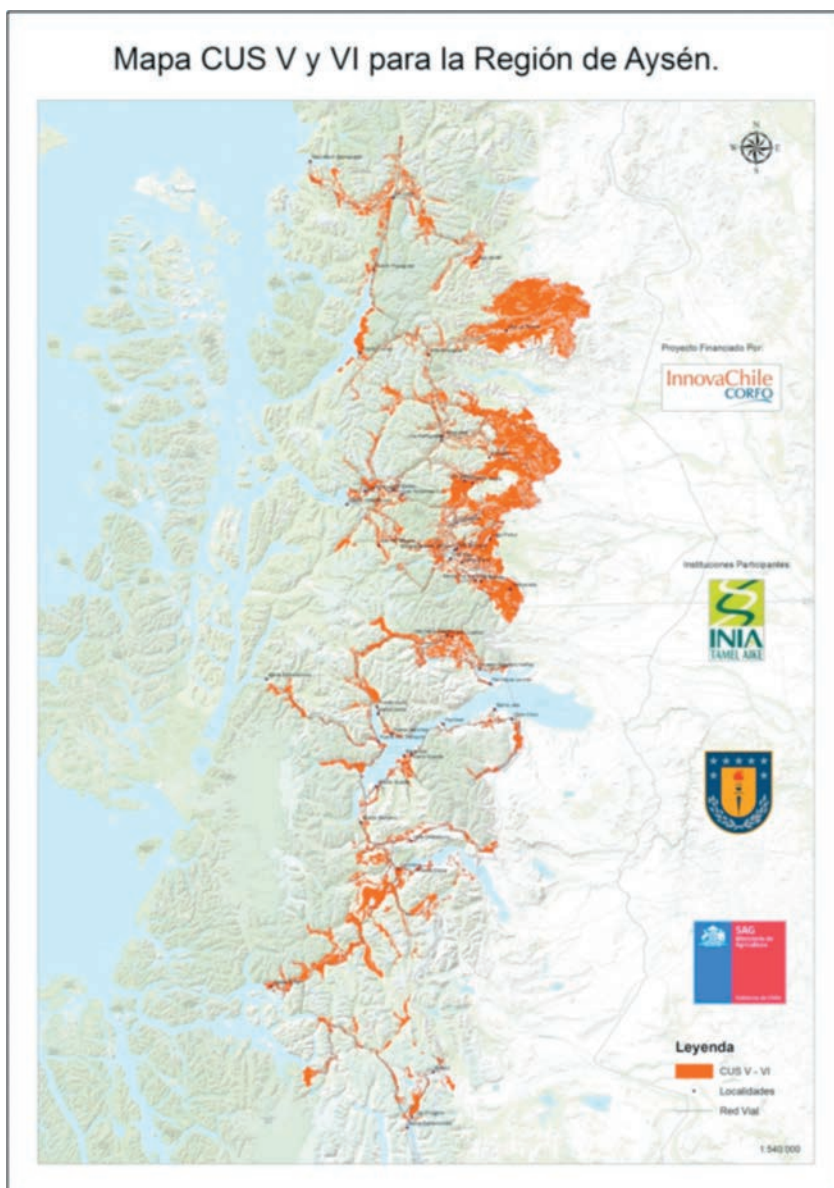


Figura 8.2. Suelos de capacidad de uso V y VI en la región de Aysén.

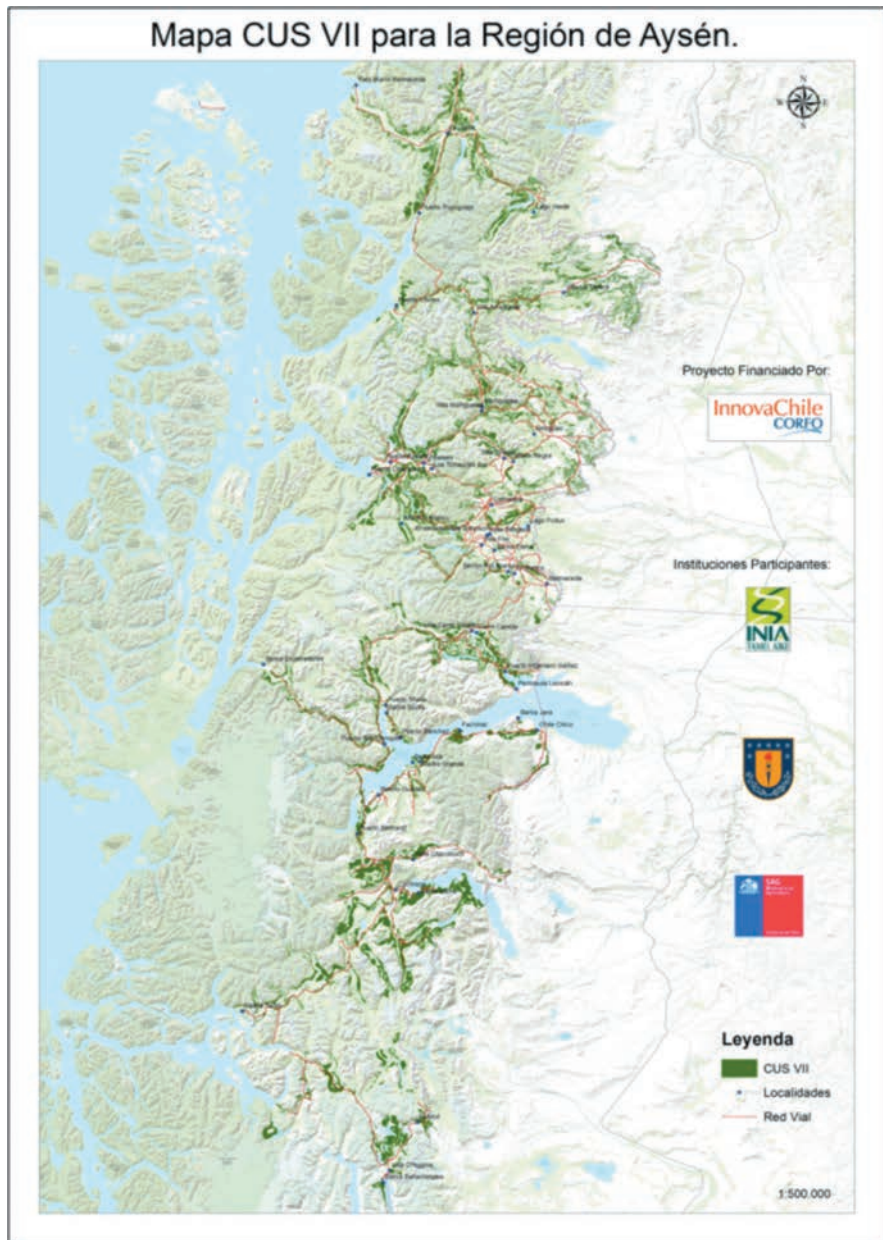


Figura 8.3. Suelos de capacidad de uso VII en la región de Aysén.

USO	Total valles	% sobre total valles de interés agropecuario (1.571.388 ha)	% sobre suelos III a VII de valles de interés agropecuario (1.339.309 ha)
Arables o cultivables	126.560	8,1	9,4
Uso ganadero limitación humedad	133.505	8,5	10,0
Uso ganadero	619.162	39,4	46,2
Subtotal agropecuario	879.228	56,0	65,6
Forestal y ganadero marginal	460.081	29,3	34,4
Subtotal silvoagropecuario	1.339.309	85,3	100,0
Protección	162.432	10,3	
Cuerpos agua	68.148	4,3	
Poblados	1.499	0,1	
Totales	1.571.388	100,0	

Cuadro 8.3. Categorías de capacidad de uso de suelos (CUS) de Aysén y su proporción en base a superficie de los valles de interés agropecuario.

El estudio que realizó IREN (1979) en la región de Aysén, basado en la disponibilidad de imágenes de la época (fotos aéreas) y la muy limitada conectividad, ha sido un referente muy citado en cuanto a la distribución de suelos y sus capacidades de uso. Por ello, resulta interesante contrastar dicha información con la generada en este estudio (cuadro 8.4). En este caso se comparan los valores encontrados en ambos estudios para las categorías de capacidad de uso de suelos entre III y VI, es decir, aquellos exclusivamente catalogados como “agropecuarios”.

Se aprecian diferencias sustanciales en todas las categorías. En el caso de la CUS III, el presente estudio encuentra sustancialmente menos suelos de dicha capacidad de uso. Se ha considerado que, por razones de limitaciones fuertes de clima, muchos de estos suelos más bien se clasifican como CUS IV. En la categoría CUS IV, por otra parte se aprecia una mayor superficie que en IREN (1979), con más de 51.000 ha de diferencia. Ello hace que,

en su conjunto, en IREN (1979) se reporten 90.941 ha de suelos “arables” y en el presente estudio suba a 126.560 ha. En todo caso, en ambos trabajos esta categoría es una proporción minoritaria del total, siendo en ambos casos entre un 14 y 15%.

En el caso de la CUS V se encontró una diferencia de cerca de 28%, en que el presente estudio tiene casi 53.000 menos de esta categoría comparado con IREN (1979). Donde hay una discrepancia mayor, es en la categoría de capacidad de uso VI, donde IREN (1979) reporta sólo la mitad de lo encontrado en el presente trabajo (308 mil ha versus casi 620 mil ha). El uso de los modelos de elevación, curvas de nivel y mejores imágenes actuales en general, probablemente pueden explicar esta diferencia. También en 35 años ha mejorado notablemente la conectividad regional, que ha permitido hacer chequeos en terreno probablemente con mayor intensidad que en el estudio de IREN (1979).

	IREN (1979)	INIA/UdeC/SAG (2014)	Diferencia (%)	Diferencia (ha)
CUS	Ha	Ha		
III	19.109	2.943	-84,6%	-16.166
IV	71.832	123.617	72,1%	51.785
V	186.377	133.505	-28,4%	-52.872
VI	308.795	619.162	100,5%	310.367
Total III a VI	586.113	879.227	50,0%	293.114
Arable	90.941	126.560	39,2%	35.619
Limitación humedad	186.377	133.505	-28,4%	-52.872
Pastoreo	308.795	619.162	100,5%	310.367
	586.113	879.227		293.114

Cuadro 8.4. Comparación de las categorías de capacidad de uso de suelos (CUS) reportadas por de Aysén y su proporción en base a superficie de los valles de interés agropecuario.

De esta forma, IREN (1979) llega a 586.113 ha (5,4% del total regional de 10,8 millones de ha), mientras que el presente estudio reporta 879.227 ha (8,1% de la superficie total regional), una diferencia de más de 293.000 ha. Ello sin duda que tiene implicancias en la producción agropecuaria regional. Es importante señalar, que en este caso no se ha incluido la clase VII, que tiene solamente uso marginal en ganadería, pero que es importante en la región de Aysén, como se vio anteriormente.

ECORREGIONES Y VEGETACIÓN

Como se vio en capítulos anteriores, la región de Aysén ha sido dividida en diferentes ecorregiones por un estudio actualizado del Servicio Agrícola y Ganadero (2014) y se cuenta con un catastro de bosque nativo, desarrollado por Conaf (2012), que describe diferentes tipos vegetacionales para toda la región.

Uno de los aspectos importantes que definen los potenciales productivos (desde un punto de vista agropecuario) en las diferentes zonas agroclimáticas de la Patagonia occidental, es la altitud. Mayor altura significa menor temperatura y ello se relaciona con mayores limitaciones para el crecimiento vegetal, lo que se traduce habitualmente en períodos de receso vegetativo más prolongados. La figura 8.4 muestra el mapa de rangos altitudinales para los valles de interés agropecuario definidos en la región de Aysén. Se aprecia que los valles ubicados en el sector occidental están en general en los rangos altitudinales más bajos (0-400 m). En las zonas orientales, los rangos más habituales van de 400-600 m, y en las zonas más altas de los valles pueden llegar a 800 o más metros sobre el nivel medio del mar.

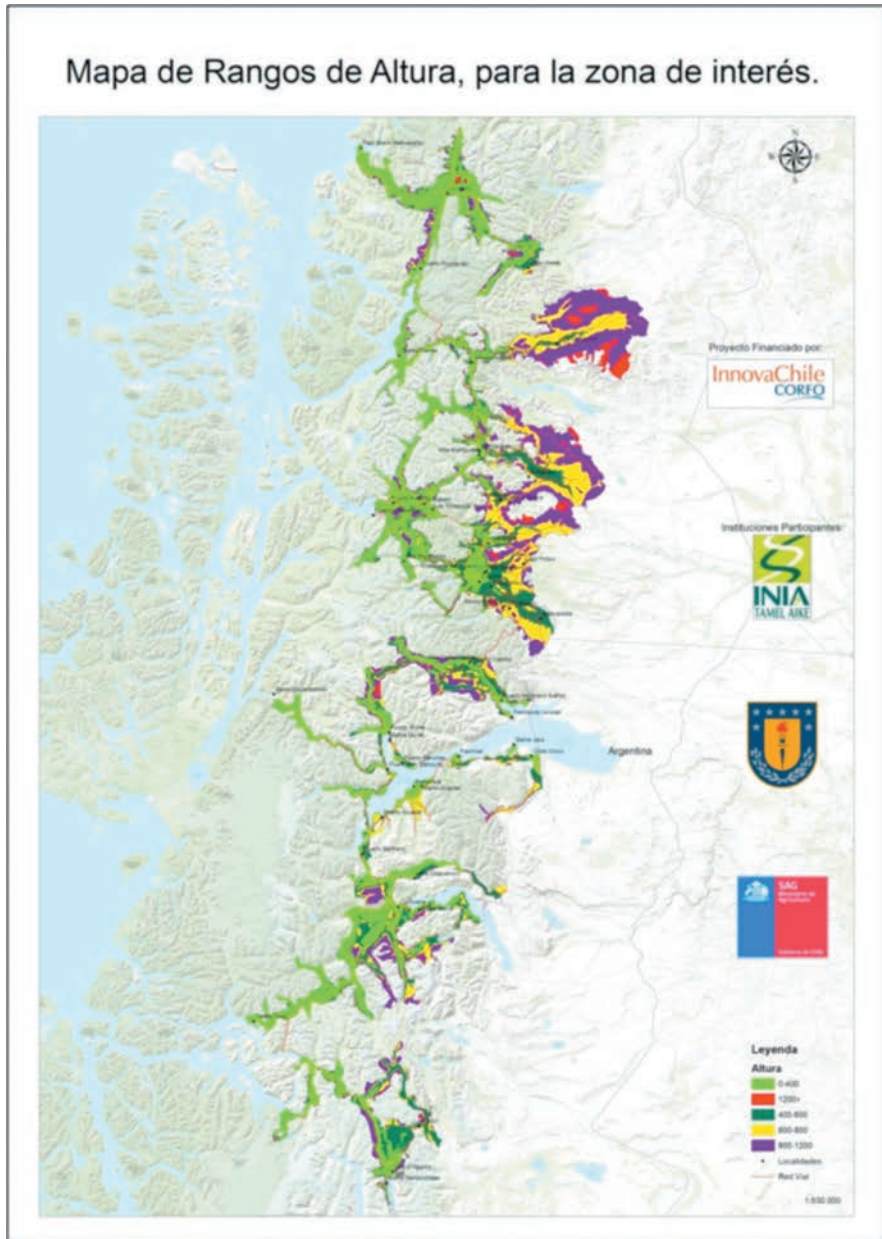


Figura 8.4. Rangos altitudinales de los valles de interés agropecuario en la región de Aysén.

Si bien la altitud en cierta medida condiciona la longitud del período de crecimiento vegetal, hay otros factores que influyen sobre el potencial productivo de estos suelos, como el régimen pluviométrico (déficit o exceso), luminosidad, fertilidad química y física del suelo, etc. Por ello, hay suelos que aunque estén en rangos altitudinales más elevados (ej. suelos de la zona intermedia vs zona húmeda), puedan tener mayor productividad anual. Ello implica en muchos casos procesos de crecimiento mucho más dinámicos, aunque sea durante períodos más acotados del año.

Ecorregión (antigua)	Ecorregión*	Aysén	Capitán Prat	Coyhaique	General Carrera	TOTAL ECORREGIONES	%
BSk'c	Csc	4	26.515	148.037	33.805	208.361	13,3%
Cfk'	Cfb	24.990	25.900	156.040	68.456	275.386	17,5%
Cfk'n	Cfbn	275.197	509	4.773	41	280.520	17,9%
Cfk'ni	Cfk'ni	16.167	6.668	0	0	22.835	1,5%
Cfsk'	Csb	0	89.586	0	27.711	117.297	7,5%
Cfc	Cfcn	0	32.814	0	0	32.814	2,1%
Dfc	Cfc	4.336	66.233	251.244	38.420	360.232	22,9%
Dfk'	Cfc	17.376	83.054	55.755	20.830	177.016	11,3%
EF	EFH	322	1.542	111	2.272	4.248	0,3%
ET	ETH	633	11.043	9.382	3.679	24.736	1,6%
Cuerpo de Agua	Cuerpo de agua	9.752	16.477	10.588	5.706	42.523	2,7%
Cajas de Rios			11.895	4.644	7.306	23.844	1,5%
TOTAL PROVINCIAS		348.777	372.237	640.575	208.224	1.569.812	
		22,2%	23,7%	40,8%	13,3%		

Cuadro 8.5 Distribución de suelos por ecorregión y provincia en la región de Aysén

*Ecorregiones redefinidas por SAG (2014) en base a nuevos modelos climáticos recientes. Se indica la equivalencia para efectos de comparación con la definición antigua.

En resumen, en la región de Aysén, las ecorregiones con climas templados húmedos (litoral, costero, intermedio) representan casi el 47% de la superficie de los valles de interés agropecuario, mientras que aproximadamente un 34% está dominado por climas de tipo andino boreal. El resto cae fundamentalmente en la categoría de clima de estepa fría (figura 8.5). De acuerdo a la nueva definición, los climas definidos en nomenclatura Köppen como "B" se consideran como templados fríos secos (zonas de estepa), mientras que aquellos originalmente definidos como "D", se consideran actualmente como templados del tipo andino boreal (zona de bosque caducifolio).



Figura 8.5. Desglose de superficie de valles de interés agropecuario en base a climas dominantes.

Al analizar la información del catastro de bosque nativo desarrollado por Conaf (2012) y contrastarla con la delimitación de valles de interés agropecuario del presente proyecto, los suelos de dichos valles presentan alrededor de 577.000 ha de bosque y 82.000 ha de bosques abiertos. Los pastizales esteparios representan alrededor de 234.000 ha, mientras que los suelos con praderas, casi 157.000 ha. Hay suelos con praderas con presencia de matorral (145.000 ha) y otros definitivamente con cobertura de matorrales (221.000 ha) (Figura 8.6).

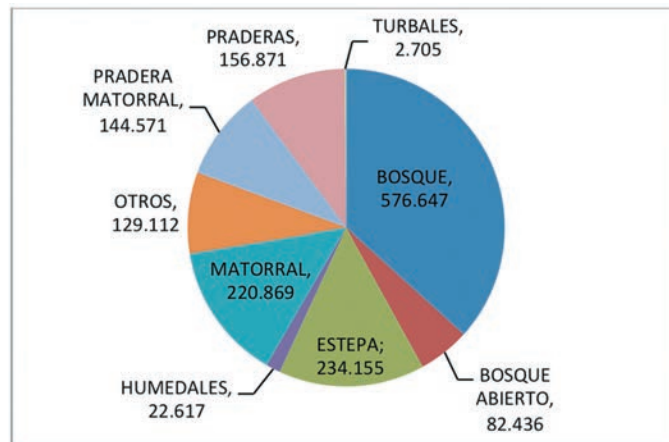


Figura 8.6. Distribución de la cobertura vegetal en suelos de los valles de interés agropecuario de Aysén.

El cuadro 8.6 muestra la cobertura de vegetación sobre las diferentes categorías de suelos correspondientes a los valles de interés agropecuario de Aysén. Se aprecia que de las 126.468 ha de suelos arables o cultivables (CUS III y IV), sólo 78.266 (62%) corresponde a sectores con claro potencial agropecuario. El 38% restante se encuentra en situación de bosques u otros.

Vegetación	III	IV	Subtotal III y IV	V	VI	Subtotal V y VI	VII	TOTAL (III a VII)
Praderas	2.385	45.153	47.538	20.480	66.689	87.168	18.522	153.228
Pradera matorral	92	10.030	10.122	5.490	58.635	64.124	51.126	125.372
Matorral	133	15.048	15.181	21.573	64.634	86.208	87.523	188.911
Estepa	46	5.379	5.425	7.947	136.060	144.007	65.887	215.319
<i>Subtotal</i>	<i>2.656</i>	<i>75.610</i>	<i>78.266</i>	<i>55.489</i>	<i>326.018</i>	<i>381.507</i>	<i>223.057</i>	<i>682.829</i>
Humedales	73	2.635	2.708	15.779	2.726	18.505	681	21.895
Bosque abierto	2	7.510	7.513	7.666	41.295	48.962	20.799	77.273
Bosque	106	33.361	33.467	46.017	227.731	273.748	193.674	500.889
Turberas	0	23	23	1.489	328	1.817	623	2.463
Otros	105	4.387	4.492	6.783	20.597	27.380	21.052	52.925
<i>Subtotal</i>	<i>286</i>	<i>47.916</i>	<i>48.202</i>	<i>77.735</i>	<i>292.678</i>	<i>370.413</i>	<i>236.830</i>	<i>655.445</i>
Total	2.943	123.526	126.468	133.224	618.695	751.919	459.886	1.338.274

Cuadro 8.6. Combinación de capacidad de uso de suelos y cobertura vegetal en los valles de interés agropecuario de la región de Aysén.

Por otra parte, en el mismo cuadro se aprecia que los suelos V y VI suman 751.919 ha, sin embargo, hay 370.413 ha (49%) bajo bosques y otros de limitado uso ganadero. Entre las diferentes coberturas de la clase VII, se tiene que de un total de 459.886 ha, 223.057 ha podrían tener cierto uso ganadero, al no estar cubiertas de bosques.

En resumen, al considerar el componente de cobertura vegetal, de un total de casi 1,34 millones de hectáreas, 682.829 (51%) no están con cobertura boscosa, mientras que 655.445 (49%) tendrían fuertes limitaciones de uso agropecuario por estar principalmente bajo diferentes tipos de bosques y otros. Más aún, al descontar la CUS VII, de uso parcial y marginal con fines pecuarios, se tienen 459.773 ha (61,7%) sin cobertura de bosque, de un total de 745.163 ha. Es decir, hay 285.390 ha entre las CUS III y VI principalmente con cobertura de bosque u otras limitantes. Parte de estos suelos tienen manejos rústicos de ramoneo animal, como también parte de la CUS VII es utilizada en ganadería en ciertas zonas.

RECURSOS FORRAJEROS PARA LA GANADERÍA EN AYSÉN

Para poder contrastar los usos actuales y definir posibles potenciales productivos en los valles productivos, es necesario referirse brevemente a la base forrajera y las alternativas que existen en la región de Aysén.

Existen diferentes grados de desarrollo de los sistemas forrajeros en Aysén, los que se resumen en la figura 8.7. La figura considera todas las etapas del mejoramiento de los suelos y su capacidad productiva. Sólo los suelos más productivos podrán sustentar ciertos grados mayores de intensificación.

La pradera naturalizada crece en Aysén por períodos muy acotados, básicamente desde fines de octubre hasta enero o febrero y puede rendir desde menos de 1 t MS/ha hasta 2-3 t MS/ha, según el status del suelo y las especies dominantes (figura 8.8).

Esta pradera se puede mejorar vía fertilización (S-P en la zona intermedia; P-cal en la zona húmeda) y llegar a rendir normalmente entre 5-8 t MS/ha. La pradera naturalizada fertilizada (figura 8.9) tiene también un período de crecimiento más amplio, desde octubre hasta fines de marzo o incluso abril. Junto al aumento de cantidad de forraje existe en estos casos un mejor valor nutritivo del forraje, debido a los cambios botánicos que se producen en las praderas, como también al mejor status nutricional del suelo. Ambas situaciones pueden aplicarse en la mayoría de las situaciones de suelos ganaderos, con mayor o menor dificultad dependiendo de variables como pendiente, cobertura de vegetación, palizadas muertas, etc.

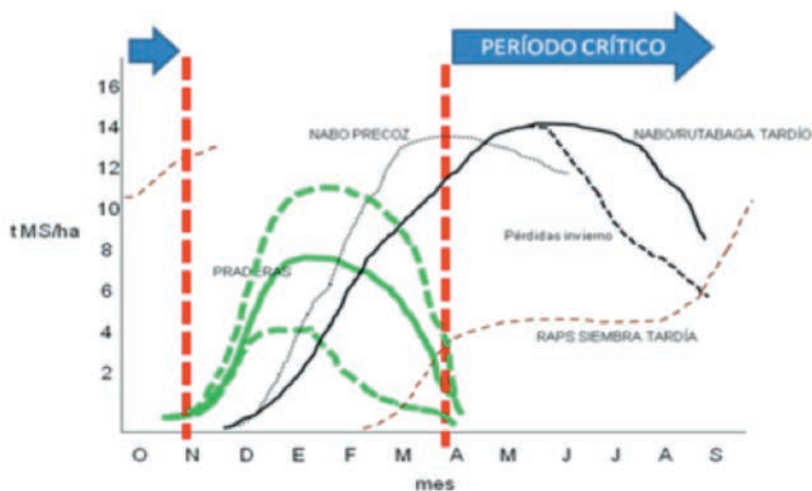


Figura 8.7. Recursos forrajeros de pastoreo disponibles en la Patagonia húmeda y su distribución anual (C.Hepp, 2011).



Figura 8.8. Pradera naturalizada sin fertilización



Figura 8.9. Pradera naturalizada de la zona intermedia oriental, con fertilización de azufre y fósforo

En aquellos suelos que permiten ser cultivados (CUS III y IV), es posible intensificar más los sistemas y lograr aumentos sustanciales de producción en praderas y cultivos. Las pra-

deras establecidas son el paso siguiente, con la siembra de especies forrajeras de mayor potencial productivo y calidad, como el pasto ovido, ballica perenne y festuca, entre las gramíneas, y tréboles blancos y rosados mejorados. Estas praderas presentan crecimiento desde fines de septiembre hasta abril, aunque variable según la zona, ya que en sectores de mayor altitud puede ser más corta la temporada. Los rendimientos fluctúan habitualmente entre 7 y 10 t MS/ha, pudiendo en ciertos casos llegar a 12 t MS/ha. Generalmente se realizan siembras mixtas que incluyen una o más gramíneas con una o más leguminosas (figura 8.10).



Figura 8.10. Praderas mixtas destinadas a conservación de forraje en Aysén

En algunos sectores, particularmente de la zona intermedia, está la posibilidad de sembrar alfalfa con latencia invernal (figura 8.11), forrajera que entregará una gran cantidad de forraje (10-13 t MS/ha), con dos cortes para conservación de forraje en la mayoría de los sectores. Esta especie tiene además un alto valor nutritivo, especialmente por su contenido proteico.

Ciertos suelos arables pueden utilizarse también con cultivos forrajeros, como es el caso de cereales (avena, cebada, triticale, trigo) o bien las brásicas forrajeras (nabos, nabo de hoja, rutabagas y raps).

En el caso de los cereales, su uso está bastante extendido hace años, con fines de producir grano para consumo animal. La avena es el cereal de más amplia utilización, aunque

más recientemente se usa también cebada y algo de triticale. En algunas circunstancias se siembran también asociados con praderas mixtas. Los cereales pueden rendir fácilmente sobre 50-60 qq/ha de grano (figura 8.12). La paja producto de la cosecha tiene valor como recurso forrajero tosco para alimentación invernal de animales adultos. Otra alternativa es el destino de cereales a heno o ensilaje, casos en que la cosecha se realiza en verano, en estados de grano lechoso para equilibrar una alta cantidad de forraje con un aún adecuado valor nutritivo. Los cereales pueden también ser destinados a pastoreo en ciertos casos. La producción destinada a conservación de forraje puede rendir habitualmente entre 10-14 t MS/ha.



Figura 8.11. Praderas de alfalfa de latencia invernal en la zona intermedia de Aysén.

Las brásicas forrajeras son sembradas en primavera (habitualmente octubre-noviembre) y, según la especie y su precocidad, producen forraje desde fines de verano (raps, nabo), otoño (raps, nabo) e invierno (nabo, Rutabaga) (Figura 8.13). Estas plantas permiten disponer de forraje de pastoreo en épocas en que otras especies no crecen, con lo que se puede solucionar parcialmente la problemática de estacionalidad productiva de los sistemas ganaderos de Aysén.

Las brásicas de raíz (nabos y rutabagas) son ricas en energía y proteína, por lo que permiten sostener la producción animal durante otoño e invierno de muy buena forma. Las brásicas de hoja tienen condiciones de rebrote, por lo que pueden ser utilizadas durante varios pastoreos desde fines de verano hasta otoño, e incluso el invierno. Los rendimientos de brásicas fluctúan entre 10 y 16 t MS/ha, según la zona, la especie, la variedad y los factores de manejo.



Figura 8.12. Rastrojo de cereales en Valle Simpson, zona intermedia de Aysén.



Figura 8.13. Pastoreo de raps forrajero con novillos en la zona intermedia de Aysén durante el otoño.

Existen otras alternativas de uso forrajero ligadas a ambientes forestales o mixtos ganadero-forestales, como es el caso de la agroforestería y el silvopastoreo. En ambos casos se trata de que coexista la producción forestal con la ganadería, generando espacios para ambas y mejores resultados productivos.

En Aysén existen experiencias en plantaciones artificiales (figura 8.14), como también el uso de matorral de quila en la zona húmeda (figura 8.15). En ambos casos se genera un estrato herbáceo que utilizan los animales y pueden ofrecer recursos forrajeros en épocas donde el ganado no tiene otras alternativas de alimentación. Existen también amplias zonas con uso rústico del ramoneo en ambientes forestales, un fenómeno de común ocurrencia en la región de Aysén.



Figura 8.14 Pastoreo de bovinos en un sistema agroforestal de un bosque raleado de pino ponderosa.



Figura 8.15 Matorral de quila y pradera naturalizada para uso estacional con ganado bovino en la zona húmeda.

CAPACIDAD DE USO DE SUELOS DE INTERÉS AGROPECUARIO Y SU UTILIZACIÓN ACTUAL Y POTENCIAL

En base a lo señalado, es posible indicar que la región de Aysén tiene espacio de crecimiento en cuanto a su potencial productivo agropecuario y especialmente en ganadería. Muchas praderas se encuentran aún sobre suelos degradados y con bajas producciones. Muchos suelos que tendrían la capacidad de producir elevados rendimientos de forraje y de buen valor nutritivo, no lo están haciendo.

Para establecer la situación actual de los sistemas agropecuarios se utilizó información del INIA, que ha trabajado desde hace más de 30 años con los sistemas regionales y existe por lo tanto suficiente experiencia para definir algunos parámetros. En este estudio se definieron 68 valles de interés agropecuario para la región de Aysén, distribuidos de norte a sur en diversas ecorregiones o zonas agroclimáticas. Producto del cruce de capas de información (CUS, cobertura vegetal) en cada valle, es posible estimar para cada categoría una cierta productividad, que se traduce a su vez en capacidad de carga animal.

Asimismo, en cada caso se define una brecha productiva, que está dada por la potencialidad *estimada* para cada condición. De esta forma, se obtiene el diferencial productivo y con ello también el cambio en carga animal factible de sostener con el recurso forrajero.

Cubierta	III y IV	V	VI	VII	Total	UA	UA/ha	UA	UA/ha
Vegetación	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	actual	actual	pot	pot
Pradera	47.538	20.480	66.689	18.522	153.228	64.553	0,42	120.296	0,79
Mixto	10.122	5.490	58.635	51.126	125.372	31.252	0,25	52.919	0,42
Matorral	15.181	21.573	64.634	87.523	188.911	31.621	0,17	54.501	0,29
Estepa	5.426	7.947	136.060	65.887	215.319	35.192	0,16	33.545	0,16
Bosque	40.980	53.684	269.026	214.473	578.162	25.784	0,04	25.512	0,04
Humedal	2.730	17.268	3.054	1.305	24.358	1.333	0,05	1.333	0,05
TOTAL	119.246	126.441	598.098	438.834	1.282.619	189.735	0,15	288.106	0,22
Agropecuario (clases III a VI)	78.266	55.489	326.018	223.057	682.829				
% agrop	65,6%	43,9%	54,5%	50,8%	53,2%	(100)		152	

Cuadro 8.7. Capacidad de uso de suelos de interés agropecuario en la región de Aysén. Estimación de la capacidad de sustentación ganadera (en unidades animales/ha, UA) actual y potencial (pot). (Consolidado de 68 valles de interés agropecuario).

En el cuadro 8.7 se resumen las superficies para diferentes combinaciones de CUS y vegetación. Ello considera la sumatoria de todos los valles de interés agropecuario de la región de Aysén. En cada uno de ellos se estimó para cada combinación una situación actual y otra potencial, en términos de producción de materia seca por hectárea por año (t MS/ha/año). Los detalles de cada valle pueden consultarse en una publicación aparte.

La producción forrajera se ponderó por factores de utilización animal (variable de 40-70% según cada caso). Ese producto se ponderó por la superficie correspondiente a cada categoría, y el resultado se aplicó a los requerimientos de una unidad animal bovina, para obtener la situación actual o potencial, para cada valle.

De acuerdo al cuadro 8.7, la producción actual de forraje de todos los valles productivos podría sustentar del orden de 190.000 unidades animales bovinas (UA). La existencia de ganado en Aysén, según el censo agropecuario de 2007 indica 193.802 bovinos y 304.936 ovinos, en sus diferentes categorías, con un total de explotaciones censadas de 2.546. De acuerdo a las estimaciones realizadas, la capacidad de 190.000 unidades animales estaría en línea con la población de ganado actual, pero sin cambios sustanciales en los sistemas actuales no habría demasiado espacio de crecimiento. De hecho, la aplicación de tecnología resulta imprescindible a la hora de pretenderse alcanzar potenciales productivos en los distintos valles regionales.

Cerca de un 86% de la carga animal se sustenta en praderas, matorrales y estepas. Las praderas “limpias” sustentan alrededor de 65.000 unidades animales, lo que representa aproximadamente el 34% del total, con una carga promedio casi tres veces más alta que el promedio (0,42 UA/ha).

El mismo cuadro señala como potencial una cantidad de 288.000 UA, lo que implica un aumento de 52% respecto de lo actual. Este desafío pasa por la implementación de tecnología, la cual en gran medida ya se encuentra disponible a través de los trabajos que ha realizado el INIA en Aysén. El potencial establecido se basa en supuestos que pueden eventualmente modificarse, pero que en general son relativamente conservadores, por lo que se estima que dichas cifras serían factibles de alcanzar.

Un aumento de casi 100.000 unidades animales, ya sea en bovinos como en ovinos, implica también desarrollos de masa e incorporación de técnicas reproductivas avanzadas y mejoramiento de los índices productivos y reproductivos en general.

El aumento de la masa animal se ha planteado como una salida a la instalación de capacidad de faenamiento local con miras a exportaciones de carnes. El uso de tecnología permitiría aumentar la disponibilidad de ganado para faena, como también disminuir la estacionalidad productiva.

En el cuadro 8.7 se aprecia también que el potencial productivo en praderas “limpias” puede subir sustancialmente desde 65.000 UA a casi el doble, con 120.000 UA (86% de aumento), pasando de una carga promedio de 0,42 UA/ha a 0,79 UA/ha. En términos generales, la estimación de aumento en capacidad forrajera de los suelos regionales implica pasar de una carga animal promedio de 0,15 UA/ha a 0,22 UA/ha.

Los resultados particulares de cada valle productivo se pueden ver en una publicación específica aparte. La información entregada en estas publicaciones está disponible en forma digital en una plataforma web, la que es de acceso público y gratuito.

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

Álvarez, C. y Herreros, J. (1979). Perspectivas de desarrollo de los recursos naturales de la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo: Uso y manejo actual de la tierra. Intendencia Región de Aysén, Serplac, Corfo, IREN.173 p.

CIREN (2005). Estudio agrológico XI Región. Publicación Ciren N° 130. 136 p.

CONAF/UACH. 2012. Monitoreo de cambio, corrección cartográfica y actualización del Catastro del Bosque Nativo en la XI Región de Aysén. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Laboratorio de Geomática, Instituto de Manejo Forestal. Valdivia, Marzo de 2012. 55 p.

Cruces, P., Ahumada, M., Cerda, J. y Silva, F. 1999. Guías Descriptiva de Sitios Misceláneos para la Conservación y de Menor Valor Forrajero de la Región de Aysén. Subdepartamento de Divulgación Técnica, Servicio Agrícola y Ganadero.

Cruces, P., Ahumada, M., Cerda, J. y Silva, F. 1999. Guías de Condición para los Pastizales de la Ecorregión Boreal Húmeda de Aysén. Subdepartamento de Divulgación Técnica, Servicio Agrícola y Ganadero.

Cruces, P., Cerda, J. y Ahumada, M. 1999. Guías de Condición para los Pastizales de la Ecorregión Templada Húmeda de Aysén. Subdepartamento de Divulgación Técnica, Servicio Agrícola y Ganadero.

Hepp, C. (1995). Investigación en tecnologías de uso de fertilizantes en praderas de la XI Región. . Informe Final proyecto FNDR. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Coyhaique, Región de Aysén. Septiembre de 1995. 65 p.

Hepp, C., Teuber, O., Salvo, R., Pinochet, D., Cisternas, E., Galdames, R. Elizalde, F. y Tapia, M. (2011). Cultivo y utilización de brásicas forrajeras en la Patagonia húmeda (Aysén). Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. C.Hepp (ed.). Coyhaique, Chile, 2011. 116 p.

IGM (2005). Atlas Región de Aysén. Instituto Geográfico Militar de Chile. LOM Ediciones Ltda. Santiago 43 pp.

INE (2007). Existencia de ganado en las explotaciones agropecuarias. Instituto Nacional de Estadísticas. Extraído de www.ine.cl. Acceso noviembre 2014.

INIA (1984). Investigación en técnicas pecuarias en la XI Región de Chile. Informe Final. Proyecto FNDR Serplac. Abril 1984. 154 p.

INIA (1991). Manejo alimenticio para el ganado y cultivos agrícolas en la XI Región. Informe Final. Proyecto FIA. Noviembre 1991. 151 p.

INIA (2001). Explotación conservacionista de suelos en Aysén. Informe Final. Proyecto FNDR. Abril de 2001. 67 p.

INIA (2003). Manejo de sistemas de riego y drenaje para la región de Aysén. Informe Final proyecto FNDR. Junio de 2003. 122 p.

Peralta, M., González, S., Capinelli, A. y Kühne, A. (1979). Perspectivas de desarrollo de los recursos naturales de la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo: Suelos y Erosión. Tomo I. Intendencia Región de Aysén, Serplac, Corfo, IREN.113 p.

Peralta, M., González, S., Capinelli, A. y Kühne, A. (1979). Perspectivas de desarrollo de los recursos naturales de la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo: Suelos y Erosión. Tomo II. Intendencia Región de Aysén, Serplac, Corfo, IREN.139 p.

SAG/GORE. 2013. Programa de transferencia en modelos de gestión territorial en cuencas productivas. Centro EULA, Universidad de Concepción.

SAG XI Región. 2014. Actualización del Estudio de las Ecorregiones de Aysén. Una aproximación sobre la base del Catastro del Bosque nativo y la Clasificación Climática de Köppen. 24 p. más anexos. No publicado.

SCHEU, R., AHUMADA, M., CERDA, J., SILVA, F. y CRUCES, P. 1998. Guías de condición para los pastizales de la Ecorregión Estepa Fría de Aysén. Proyecto FNDR - SAG XI Región de Aysén "Levantamiento para el ordenamiento de los ecosistemas de Aysén". SEREMI de Vivienda y Urbanismo XI Región. 2003. Estudio de la Actualización Plan Regional de Desarrollo Urbano de Aysén. Habiterra S.A. Etapa III Proyecto. Informe de Avance N°2. 129 p.

Silva, F., Ahumada, M. y Cerda, J. 1999. Guías de Condición para los Pastizales de la Ecorregión Templada Intermedia de Aysén. Subdepartamento de Divulgación Técnica, Servicio Agrícola y Ganadero.

Financiado por:



Basado en información generada por el proyecto titulado: "Taxonomía, caracterización físico-química y mapeo de suelos de potencial agropecuario de los valles productivos de Aysén y aplicaciones en el medio" (código 11BPC-9975), financiado por Corfo a través de su Programa de Bienes Públicos de Innova Chile.



Ejecutado por:

Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Tamel Aike
Departamento de Suelos Facultad Agronomía Universidad de Concepción
con el apoyo de la unidad SIG SAG Región de Aysén

Visitar plataforma web: <http://aysensig.inia.cl>