

Clasificación jerárquica y cartografía de ecosistemas en la zona andina de la Región del Biobío, Chile¹

Hierarchical classification and ecosystem cartography in Andean zone of the Biobío Region's, Chile

Gonzalo Mardones²

²Geógrafo. Máster en Conservación y Gestión del Medio Natural, Departamento de Ciencias Sociales, Universidad de Los Lagos (Chile). E-mail: gmardone@ulagos.cl

RESUMEN

Uno de los procedimientos más utilizados para aproximarse a la representación espacial de los ecosistemas es el que permite la obtención de unidades ambientales, a partir de la superposición de mapas temáticos en los que se recoge la variabilidad espacial de los distintos compartimentos que conforman los ecosistemas de un territorio. Como alternativa a esa metodología, este trabajo presenta un procedimiento deductivo de integración de variables biofísicas, bajo el fundamento de que un ecosistema es una unidad funcional del planeta de cualquier magnitud que se autoorganiza en el tiempo y que está estructurada por elementos vivos y no vivos, ligados por una trama de relaciones biofísicas de interdependencia. Este procedimiento se ha utilizado para clasificar y cartografiar los ecosistemas en la zona andina de la Región del Biobío, en Chile, medio natural que presenta una gran heterogeneidad espacial.

Palabras clave: ecosistemas, variables biofísicas, cartografía.

ABSTRACT

One of the procedures more used to represent the ecosystems in maps is through environmental units. This is obtained from the superposition of thematic maps of the different compartments that conform the ecosystems of a territory. As an alternative to that methodology, this work presents a deductive procedure of integration of biophysics variables, under the concept that an ecosystem is a functional unit of the planet of any magnitude that auto-organized in the time and that is structured by alive and not alive elements, bound by a plot of biophysics relations of interdependence. This procedure has been used to classify and to map the ecosystems in the Andean zone of the Region of the Bio Bio, in Chile.

Key words: ecosystem, biophysics elements, cartography.

La definición de los ecosistemas y su cartografía debiera considerar el complejo de relaciones biofísicas existentes en el medio natural. Este tipo de reconocimientos integrados del territorio, bajo un enfoque ecológico, no son algo nuevo, pues se encuentran en las prospecciones territoriales del CSIRO en Australia, así como en las investigaciones paisajísticas en la antigua Unión Soviética (Tricart y Kilian, 1982). Todas ellas fueron realizadas con el objetivo de evaluar, de una forma rápida y simple, la vocación y potencialidades de uso de grandes territorios despoblados.

Al respecto, uno de los procedimientos más utilizados para aproximarse a la representación espacial de los ecosistemas es el que permite la obtención de *unidades ambientales*, a partir de la superposición de mapas temáticos en los que se recoge la variabilidad espacial de los distintos compartimentos que conforman los ecosistemas de un territorio. Estos mapas presentan serios problemas para satisfacer los requerimientos ecosistémicos que exige una planificación multidimensional e integrada del territorio (Montes *et al.*, 1998). Como alternativa a estos modelos, que pueden ser considerados de corte analítico o reduccionista, se han desarrollado otros procedimientos basados en el reconocimiento y la plasmación cartográfica de los procesos biofísicos esenciales que determinan la expresión espacial, a diferentes escalas, de los ecosistemas. Bajo este, se intenta dar un peso fundamental a todo el sistema de relaciones ecológicas que caracteriza al medio natural, más que a un conjunto de aspectos temáticos aislados, por lo cual posee una naturaleza sistémica u holista (Bailey, 1996).

Por una parte, se encuentra la *cartografía ecológica inductiva*, que no parte de ninguna idea preconcebida de clasificación ecológica del territorio para, de esta forma, buscar mayor objetividad en su descripción sintética. Mediante el empleo de técnicas estadísticas multivariantes, este procedimiento busca indicadores ecológico-cartográficos, que permiten definir y reconocer en un mapa las distintas escalas espaciales en que se manifiesta la heterogeneidad ecológica de un territorio (De Pablo y Martín de Agar, 1993).

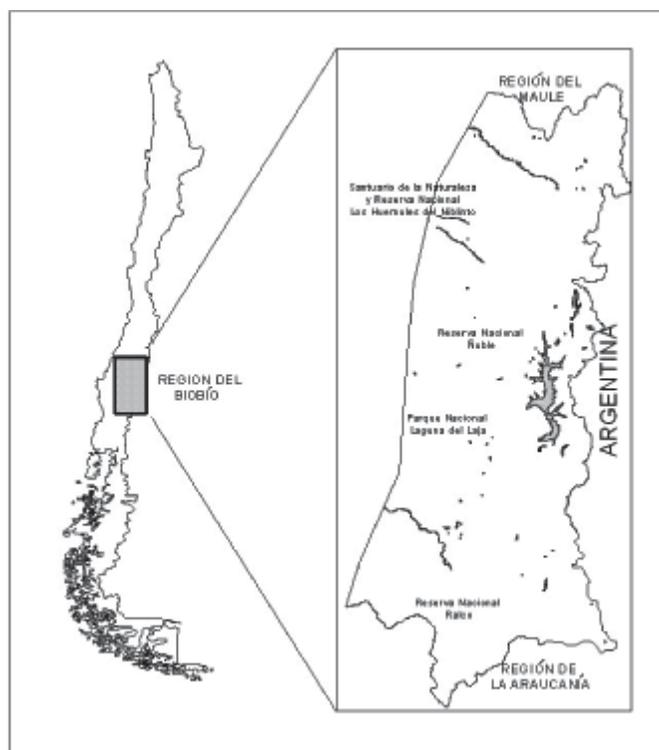
Por otro lado, la *cartografía ecológica deductiva* parte de un modelo conceptual que intenta describir, a priori y de una forma objetiva y simplificada, la compleja realidad ecológica de un territorio. Desde esta aproximación se comienza por un modelo de organización jerárquica de un gran ecosistema, en donde se organizan los componentes estructurales y funcionales según una jerarquía de dominio de relaciones entre niveles jerárquicos y una jerarquía de escalas que delimitan la dimensión espacial y temporal con que se manifiestan (Montes *et al.*, 1998). Dado que los componentes estructurales y funcionales de los ecosistemas se expresan a diferentes escalas espaciales, el medio natural puede caracterizarse a diferentes niveles de homogeneidad para un conjunto de compartimentos abióticos y bióticos. Esto implica que los ecosistemas pueden en primer lugar definirse (modelo de organización jerárquica del ecosistema), es decir, clasificarse, y posteriormente reconocerse espacialmente, o sea, cartografiarse a diferentes escalas espaciales.

A partir de dicha situación, este trabajo propone un procedimiento deductivo de integración de las variables biofísicas del medio natural, orientadas hacia la clasificación y cartografía de los ecosistemas andinos de la región del Biobío en Chile.

Marco conceptual y metodológico

La zona andina de la Región del Biobío se encuentra ubicada en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes entre los 36° 30' y los 38° 15' de Latitud Sur y los 71° y 72° de Longitud Oeste ([Figura 1](#)). La superficie del área de estudio es de 1.210.464 hectáreas, de las cuales 108.713, o sea el 8,98%, se encuentra bajo protección de alguna categoría de manejo del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE).

Figura 1. Área de Estudio



El sistema de clasificación ecológica del medio natural aplicado a esta investigación se ajusta a un enfoque deductivo de cartografía de ecosistemas, pues emplea como principio conceptual y guía el modelo de organización jerárquica y funcionamiento de los ecosistemas (Montes *et al.*, 1998; Margalef, 1992; Rodríguez, 1999). Este nos permite identificar, priorizar, sintetizar y cartografiar los principales factores de control, procesos genéticos y patrones ecológicos que determinan la estructura, funcionamiento y dinámica, es decir, la integridad de los ecosistemas de un territorio. El modelo seguido no constituye un conjunto rígido de normas y procedimientos, sino que un marco conceptual y metodológico de integración.

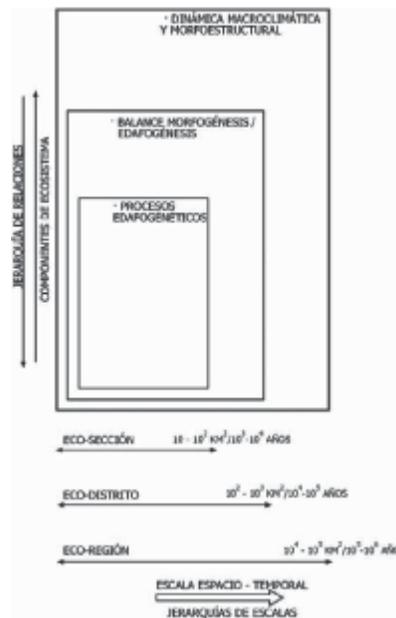
En este proceso se ha partido de un ecosistema definido a una escala espacial amplia o "gran ecosistema", en este caso la zona andina de la Región del Biobío, en el que se van introduciendo, paso a paso, niveles de subdivisión o escalas espaciales de más detalle que permiten reconocer ecosistemas de menor tamaño. Constituye un procedimiento de *clasificación por subdivisión o descendente* (Zonneveld, 1994). Los polígonos o entidades con delimitación cartográfica se corresponden, por tanto, con los

tipos de ecosistemas definidos previamente en la clasificación jerárquica. Los límites de dichos ecosistemas se establecen según criterios determinados en base al análisis de las discontinuidades o la densidad de interrelaciones entre los patrones espaciales del medio natural.

Para la elaboración de este modelo teórico de los ecosistemas andinos se realizó una recopilación de antecedentes bibliográficos y cartográficos del área de estudio, con el objetivo de poder sistematizar la información de fuentes disponibles, en aspectos tales como la geología, geomorfología, clima, hidrografía, ecología, vegetación, entre otros. Luego se identificó y caracterizó los compartimentos y procesos ecológicos más relevantes, es decir, identificar las estructuras (i.e. modelado, cuencas, suelos, vegetación) y procesos (morfogenéticos, hidrológicos, edafogenéticos y evolutivos) que le otorgan un carácter singular al ecosistema andino y que constituyen su integridad. Finalmente, se estableció una jerarquía de relaciones espaciales y temporales de los compartimentos y procesos ecológicos.

Los niveles jerárquicos de clasificación de los ecosistemas andinos que han sido seleccionados, en coherencia con la escala de trabajo a nivel regional, corresponden a la *Eco-Región*, el *Eco-Distrito* y la *Eco-Serie* (Figura 2). Cabe señalar que cuando se refiere al término ecosistema de forma aislada, se trata de un tipo concreto de sistema de relaciones biofísicas sin especificar dimensiones, pero al emplear los vocablos de dicha clasificación jerárquica, se refiere a tipos de ecosistemas concretos referidos a una determinada escala espacial y temporal.

Figura 2. Jerarquías temporales y espaciales del ecosistema andino del Biobío



La *Eco-Región* se refiere a una escala macro de los ecosistemas, en la cual adquieren relevancia las dinámicas macroclimáticas y geoestructurales, cuyos factores de control genético están condicionados por zonas climáticas mayores y cambios climáticos en escala temporal amplia y la tendencia general en la dinámica tectónica para períodos largos. Ello conduce a formas de relieve característicos a esta escala, como alineaciones montañosas y cuencas de drenaje mayores. Espacialmente corresponde a un orden de magnitud igual o superior a miles de km² y temporalmente a escalas de formación y permanencia superiores a los cientos de miles de años. Su expresión cartográfica más apropiada corresponde a la escala 1:1.000.000.

El *Eco-Distrito* es el nivel jerárquico inmediatamente inferior y se refiere a ecosistemas de orden superior dentro de la jerarquía general de escalas en los que predomina la componente abiótica (geosistemas). Espacialmente corresponde a un orden de magnitud igual o superior a cientos de km² y temporalmente a escalas de formación y permanencia ajustada entre las decenas y cientos de miles de años. La identificación y delimitación de ecosistemas es posible considerando los procesos geológicos-geomorfológicos y morfoedáficos que conducen, por una parte, a la génesis de grandes cuerpos litológicos, y por otra, a la caracterización de un modelo evolutivo concreto dentro de la interpretación balance morfogénesis/edafogénesis. Particular relevancia se le ha asignado a la diferenciación mesoclimática provocada por las diferencias altitudinales del relieve, lo que va creando patrones espaciales de pisos bioclimáticos. Su expresión cartográfica más apropiada corresponde a la escala 1:500.000.

La *Eco-Serie* es el nivel de mayor detalle para esta investigación, siendo un nivel escalar de ecosistemas de orden medio, que espacialmente se desarrolla en órdenes de magnitud entre las decenas y las centenas de km², siendo de miles de años la escala temporal de referencia. A este nivel, en consecuencia, estarían representados los ecosistemas en los que los elementos bióticos juegan ya un papel importante junto a la componente abiótica. A esta escala espacio-temporal, los procesos edafogenéticos tienen una gran importancia por su relación con la estructura de la vegetación, por lo que el balance entre morfogénesis y edafogénesis es un aspecto esencial que incide directamente en la estructura y funciones de los ecosistemas. Su expresión cartográfica más apropiada corresponde a la escala 1:250.000.

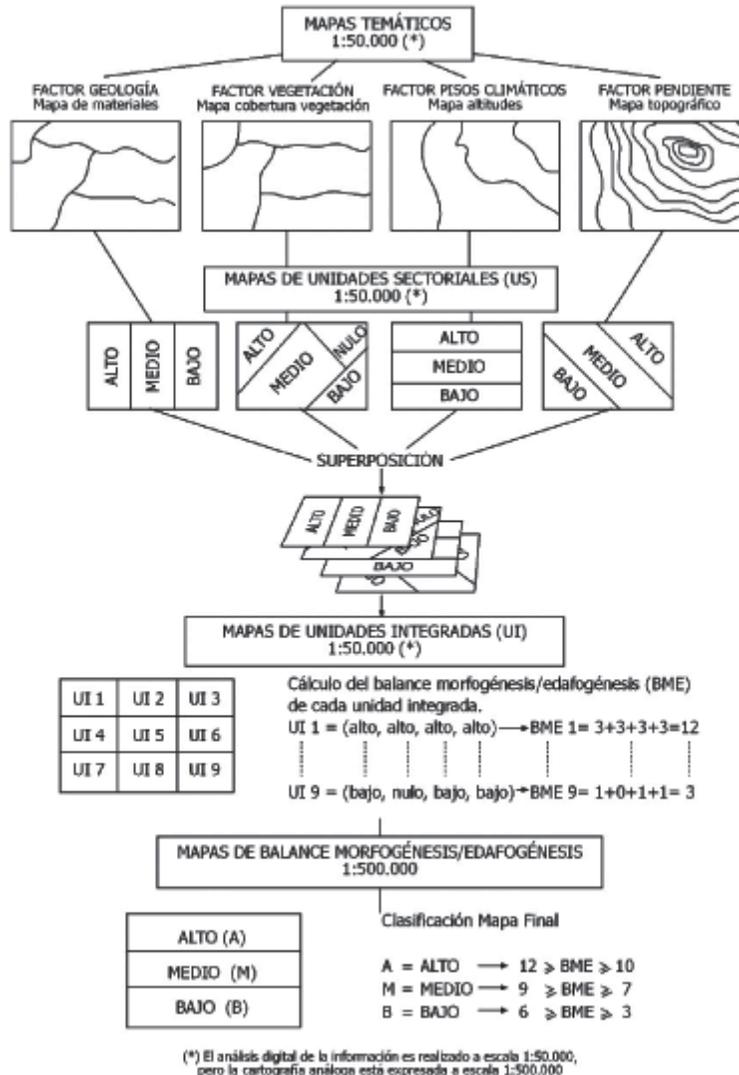
Respecto a esto último, para la diferenciación de los ecosistemas a escala de Eco-Serie se ha considerado la evaluación de cuatro variables seleccionadas en función de su incidencia sobre el balance morfogénesis/edafogénesis: pisos vegetacionales, cobertura de vegetación, pendientes y geología. Cada una de estas variables, consideradas como factores de control, es evaluada cualitativamente en función del balance morfogénesis/ edafogénesis, asignándole un índice numérico, tal como se indica en el [Cuadro 1](#). De igual modo, la interacción de estos factores de control acciona ciertos procesos biofísicos en el medio natural que finalmente se expresan en determinados patrones espaciales. Las cuatro variables han seguido un procedimiento de análisis basado en la modificación de una propuesta metodológica de Pedraza (1996), referida a una evaluación cualitativa del riesgo de erosión potencial en base al grado de susceptibilidad de cuatro factores (materiales geológicos, vegetación, clima y pendientes), los cuales son asimilables a una evaluación del balance morfo/edafogénesis ([Figura 3](#)).

Cuadro 1. Criterios para el balance
Morfogénesis/Edafogénesis

| | | BALANCE | | |
|---|---|---|---|--|
| | | MORFOGÉNESIS | ← → | EDAFOGÉNESIS |
| Índice | | 1 | 2 | 3 |
| FACTOR DE CONTROL Elementos que condicionan el conjunto de procesos bióticos del ecosistema | Pisos climáticos: Por la media y amplitud térmica y la cantidad tipo y régimen de precipitaciones | Sobre los 1.800 m.s.n.m. Zonas de precipitación muy alta (> 2.000 mm/año) concentrada en aguaceros esporádicos tipo tormenta o bien en forma de nieve cuyo deshielo activa la morfogénesis y temperaturas muy bajas. | Entre los 600 y 1.800 m.s.n.m. Zona de precipitación alta (de 1.000 a 2.000 mm/año) y mayoritariamente dispersa en borrascas estables y eventualmente aguaceros esporádicos tipo tormenta. Temperaturas moderadas aunque muy variables durante el año. | Bajo los 600 m.s.n.m. Zonas de precipitación alta (entre 1.000 y 2.000 mm/año) siempre dispersa en borrascas estables y temperaturas moderadas. |
| | Geología: Según su nivel de consistencia y friabilidad; compacidad y permeabilidad; y agregación, textura y estructura | Depósitos no consolidados de origen fluvial, fluvio-glacial, glacial, lacustre y coluvial del Holoceno (arenas, gravas, limos, bloques, ceniza y lapillo); volcanes, conos piroclásticos, domos y materiales piroclásticos desarrollados desde el Pleistoceno (andesitas, andesitas basálticas, docitas, basaltos, riolitas y depósitos de piroclastos asociados) | Conjunto volcánico andesítico a basáltico del Plio-Pleistoceno y del Mioceno medio; complejos plutónicos con dimensiones de batolito del Mioceno (granito, diorita, andesita, basalto) | Conjunto de conglomerados, areniscas, limonitas y depósitos piroclásticos, semiconsolidados y alterados de origen fluvial, glaciofluvial, glacial, glaciolacustre y piroclástico del Pleistoceno inferior. |
| Pendientes: Por la inclinación y el desarrollo (longitud) | Superiores a 30% | Entre 30% y 15% | Inferiores a 15% | |
| Vegetación: Por el tipo de formación, su estructura y densidad | Terreno sin cobertura vegetal o muy discontinua y estacional, o bien terreno de cobertura herbácea estacional o arbustiva discontinua. Ej., estepa o matorral poco denso Cobertura inferior al 50% | Terreno con cobertura herbácea continua no estacional (ej. pradera) o arbustiva muy densa Cobertura entre 50 y 75% | Bosque denso con sotobosque bien definido. Ej., cualquier bosque natural que no haya sufrido procesos recientes de degradación sea por causas naturales o antrópicas. Cobertura sobre 75% | |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Procedimiento para la obtención del balance morfo/edofogénesis



Fuente: Elaboración propia.

Para el factor geología se ha considerado fundamentalmente el nivel de consistencia y friabilidad de los materiales, además del grado de antigüedad en función de su potencial frente a la edafogénesis, asignándole un índice desde el 1 al 3. La información proviene de las Cartas Geológicas de Chile escala 1:250.000 desarrolladas por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN): Hoja Laguna del Maule (1984), Hoja Laguna de la Laja (1983), Hoja Curacautín (1997), Hoja Concepción-Chillán (1981) y Hoja Los Ángeles-Angol (1981).

Para el factor vegetación se ha establecido una clasificación basada en la propuesta de Braun-Blanquet (1979) respecto a la superficie del terreno cubierta por la vegetación, distinguiéndose cuatro categorías: (0) cobertura muy baja o nula inferior al 25% de la superficie del terreno; (1) cobertura abierta entre el 25 y 50% de la superficie del terreno; (2) cobertura semidensa entre el 50 y 75% de la superficie del terreno; (3)

cobertura densa sobre el 75% de la superficie del terreno. Esta clasificación ha sido aplicada a la información disponible del Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, desarrollado por la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) y la Corporación Nacional Forestal (CONAF) el año 1997.

Por su parte, el factor pisos climáticos ha sido considerado en base a grandes rangos altitudinales, en razón a la escasa disponibilidad de información meteorológica más precisa. Por ello, se han definido tres categorías, las cuales están basadas en las diferencias climáticas, particularmente de temperatura, que provoca al gradiente altitudinal. En el primer caso, los 600 m.s.n.m. representa el límite inferior del dominio andino en la Región del Biobío y los 1.800 m.s.n.m. corresponde al límite superior de la vegetación y el comienzo del ámbito nivo-glacial (Mardones, 2001), ambos aspectos con un significativo efecto sobre la climatología a nivel regional.

Por último, el factor pendiente ha sido considerado estableciendo tres rangos en función del potencial para el desarrollo de procesos gravitacionales: suaves, moderadas y fuertes a muy fuertes. Este factor ha sido trabajado usando como base la información disponible del Catastro de Recursos Vegetacionales de Chile.

Una vez realizados los mapas temáticos de cada uno de los factores, se ha procedido a realizar una superposición de ellos y para cada uno de los polígonos resultantes se han sumado los índices respectivos del potencial morfo/edafogénesis, llegándose a un mapa de Balance Morfogénesis/Edafogénesis (Figura 3)

La terminología utilizada en este trabajo para la denominación de los distintos tipos que componen la clasificación jerárquica de ecosistemas ha seguido el criterio de identificar cada ecosistema con el o los elementos más destacados o significativos de la identidad de los mismos, teniendo siempre como referente su componente genético-funcional.

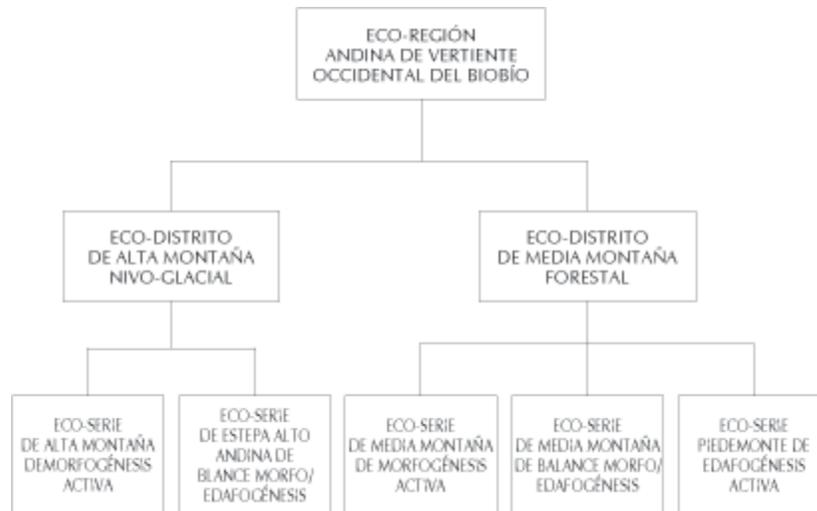
Luego de este proceso de clasificación jerárquica de los ecosistemas andinos, se procedió a cartografiar los distintos niveles espaciales a una escala 1:250.000, lo cual implicó centrarse en los sectores superiores de la jerarquía, que reconocen un mayor énfasis sobre los aspectos abióticos que controlan las características de los ecosistemas, para ir pasando luego a los niveles inferiores.

La investigación utilizó como herramienta de análisis y cartográfica un Sistema de Información Geográfica (Arc/View 3.2) cuyos componentes principales son la generación de cartografía digital, bases de datos integradas y análisis espacial mediante cartografía temática.

Resultados

La clasificación de los ecosistemas andinos para cada una de las escalas jerárquicas ha considerado la dinámica macroclimática y geoestructural para el caso de la Eco-Región, el gradiente mesoclimático asociado al relieve para el caso de los Eco-Distritos y al balance morfogénesis/edafogénesis para el caso de las Eco-Series ([Figura 4](#))

Figura 4. Clasificación jerárquica de ecosistemas andinos del Biobío



Fuente: Elaboración propia.

Ecosistema a nivel de Eco-Región

La Eco-Región Andina del Biobío está caracterizada por ciertos aspectos de homogeneidad a nivel macroclimático y morfoestructural que le otorgan una identidad espacial. Desde el punto de vista macroclimático, su posición latitudinal lo ubica en una zona de transición entre el dominio mediterráneo y el templado húmedo, lo que determina la existencia de veranos secos, ricos en radiación solar y de una estación invernal húmeda y de temperaturas moderadas (Quintanilla, 1985; Mardones, 2001). Este tránsito latitudinal se produce fundamentalmente por la modificación del factor de control determinante de las características de la biota. Mientras hacia el norte el factor de control a nivel macroclimático, que determina los principales procesos del ecosistema, es la disponibilidad de humedad, hacia el sur es reemplazado por las bajas temperaturas que comienzan a limitar la actividad biológica (Armesto et al., 1995). La dinámica morfoestructural es el segundo aspecto que caracteriza a los ecosistemas andinos en su escala de Eco-Región, que corresponde a una cadena de montañas de dirección norte-sur que se eleva al poniente del escarpe de falla que limita con la depresión central, aproximadamente desde los 600 metros de altitud, situándose su altura promedio en los 2.000 metros. Sobre formaciones geológicas cenozoicas, depositadas en el Terciario superior durante la orogénesis andina, se ha desarrollado un volcanismo pre y postglacial que ha construido grandes conos volcánicos que superan los 3.000 m.s.n.m., que junto a la posición climática de esta montaña, son factores fundamentales para comprender la escasa importancia de la morfología glacial cuaternaria. Junto a ello, las condiciones de mediterraneidad climática, con lluvias torrenciales de invierno, favorecen una intensa morfogénesis pluvial en la zona andina (Mardones, 2001).

Ecosistemas a nivel de Eco-Distritos

A nivel de Eco-Distritos se han distinguido dos ecosistemas al interior de la Eco-Región Andina, cuya terminología obedece a sus características morfológicas o fisonómicas más importantes: Alta Montaña Nivo-Glacial y Media Montaña Forestal. El límite entre

ambos Eco-Distritos ha sido ubicado en los 1.800 metros de altitud, pues corresponde al inicio del dominio nivo-glacial, coincidente con el umbral de vegetación arbórea (Quintanilla, 1985; Armesto et al., 1995; Mardones, 2001). Desde el punto de vista genético-funcional estos pisos bioclimáticos o Eco-Distritos corresponden a ecosistemas cuya génesis y evolución se ha desarrollado temporalmente a partir de los últimos diez mil años, es decir, en un período postglacial. Además, espacialmente se desarrollan en una superficie entre los cientos y miles de km². Las formaciones vegetacionales andinas reflejan este escalonamiento en pisos bioclimáticos, observándose la sucesión de a lo menos dos tipos de pisos: el bosque andino y subandino y el del piso nival, separados ambos en algunos tramos por un piso transicional de estepa andina (Mardones, 2001). Esta respuesta biótica obedece a un condicionamiento de factores climáticos, tornándose más húmedos y fríos a medida que aumenta la altitud. De igual manera, la posición a barlovento de la vertiente occidental de la cordillera andina lo deja bajo la acción alternada del anticiclón del Pacífico responsable de la sequía estival, y los frentes de bajas presiones que generan un invierno húmedo. Pero la cordillera andina no solo es receptora de las precipitaciones invernales, sino que su efecto de barrera amplifica la influencia de las depresiones ciclónicas, incrementando la humedad y dando origen a pisos altitudinales con marcada diferenciación climática que, a medida que se eleva en altura, se tornan más fríos y húmedos, hasta recibir precipitaciones de tipo nival (Mardones, 2001).

El Eco-Distrito de Alta Montaña Nivo-Glacial cubre una superficie de 317.732 hectáreas, equivalente al 26,28% del área de estudio, ubicándose en las cimas de los cordones y plataformas volcánicas, por sobre los 1.800 metros de altitud. La altitud es el factor geográfico que rige la ordenación de este ecosistema, al modificar las características climáticas del dominio mediterráneo, sustituyéndolo por un ambiente frío, nival y glacial. A ello se suma la presencia de una importante actividad volcánica. En esta área predomina el clima frío de altura, entre cuyas características principales destaca la alternancia de seis meses templados y húmedos, y seis meses fríos y húmedos, alcanzando su pluviometría entre 2.000 mm al norte de la región y 4.000 mm al sur, según la exposición. De igual manera, entre 80 y 85% de las precipitaciones se concentran en los meses de abril a septiembre y caen preferentemente en forma de nieve, entre los meses de junio a septiembre (Mardones, 2001). Las temperaturas medias mensuales son bajas durante la mayor parte del año, alcanzando un mínimo mensual en julio de -0,3° C y en enero de 10° C (SERNATUR, 1985).

En el Eco-Distrito de Alta Montaña Nivo-Glacial la presencia y retención de la nieve es una constante, por lo cual existe una intensa actividad morfogenética cuyo accionamiento se produce fundamentalmente en primavera, durante el deshielo. Este factor de control desencadena una serie de procesos geomorfológicos derivados del agua de fusión de nieves y la gravedad, los cuales se desarrollan sobre las escarpadas laderas rocosas, generando avalanchas, derrumbes, deslizamientos, procesos de erosión en manto, en zanja, solifluxión y reptación, en aquellas vertientes cubiertas por cineritas (depósitos de ceniza volcánica) (Börgel, 1983; Mardones, 2001).

Taludes rocosos, superficies nevadas y volcanes activos identifican este ambiente geográfico caracterizado por su clima frío y de fuertes pendientes, lo que lo transforma en un marcado medio en rexistasia o inestables, según la terminología propuesta por Tricart y Kilian (1982) con gran intensidad de meteorización mecánica tipo gelifracción, erosión nival y glacial y desarrollo de litosoles, es decir, suelos azonales delgados situados sobre lechos rocosos en regiones montañosas (Mardones, 2001). En estos ambientes inestables existen modificaciones significativas de la superficie topográfica,

que junto a importantes flujos de material constituyen un factor de control limitador para el desarrollo de cobertura vegetal, con lo cual el balance entre morfogénesis y edafogénesis está marcadamente a favor del primero.

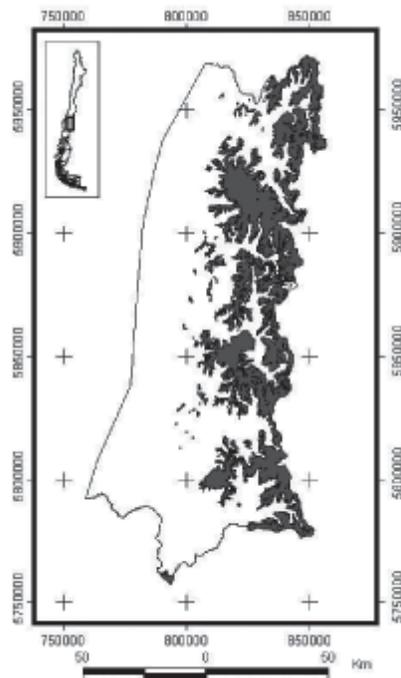
El Eco-Distrito de Media Montaña Forestal cubre una superficie de 875.495 hectáreas, equivalente al 72,40% del área de estudio, ubicándose altitudinalmente por debajo de los 1.800 metros de altitud. La alternancia de seis meses estivales secos y calurosos, frente a otros seis invernales lluviosos y fríos, permiten el desarrollo de una actividad biológica que se expresa en formaciones boscosas que dominan el paisaje, el cual ha sido transformado por actividad antrópica en zonas agrícolas o de plantaciones forestales en las zonas más bajas (600 metros de altitud). No obstante esa transformación del paisaje, no es posible diferenciar mesoclimáticamente, al menos a esta escala jerárquica, ecosistemas cuya génesis y evolución tenga discrepancias significativas. Los montos pluviométricos varían desde los 1.500 mm en el piedemonte andino, 3.000 mm en el fondo de los valles, hasta más de 4.000 mm en el límite superior de la media montaña. En tanto, las temperaturas medias a lo largo del año registran importantes variaciones, alcanzando valores de 15° C en el mes de enero y 6° C en las zonas bajas y 2° C en las altas, para el mes de julio. Los sistemas hídricos se caracterizan por presentar regímenes de tipo mixto pluvionival, para el caso de los ríos con sus cabeceras en el Eco-Distrito Nivo-Glacial, como el Ñuble, Duqueco y Biobío, aunque este último tiene su cabecera en la zona andina de la Región de la Araucanía, al sur del área de estudio; en cambio, los ríos que se desarrollan exclusivamente dentro del ámbito del Eco-Distrito de Media Montaña, como el Bureo, presentan un régimen de tipo pluvial con crecidas invernales y con variación estacional de sus caudales.

Desde el punto de vista morfogenético, este Eco-Distrito es un medio de gran erodabilidad potencial, a raíz de los escarpados taludes de sus valles y su litología, particularmente aquellas laderas orientadas hacia el norte (solana), rocosas y de pendiente fuerte (sobre 25°). A ello se suma el aporte importante de flujos lávicos y piroclásticos desde los principales conos volcánicos, por lo cual en el fondo de los valles es posible encontrar remanentes de terrazas laháricas, alternados con depósitos fluviales y fluvioglaciales (Mardones, 2001).

Ecosistemas a nivel de Eco-Serie

La Eco-Serie de Alta Montaña Nivo-Glacial de Morfogénesis Activa ([Figura 5](#)) cubre una superficie de 281.257 hectáreas, equivalente al 23,26% del área de estudio. En cuanto al Índice del Balance Morfogénesis/Edafogénesis, esta Eco-Serie se corresponde con valores entre 3 y 6, es decir, con un bajo potencial para la edafogénesis. Su situación altitudinal es preferentemente por sobre los 2.000 metros, en donde destaca la escasa vegetación, fruto de condiciones climáticas muy adversas. Los procesos glaciales y periglaciales predominan, junto a un activo volcanismo cuaternario. El factor de control principal de este ecosistema como agente morfogenético, lo protagoniza el papel de la nieve y el hielo, este último sobre los 2.600 metros. La porción glacial en esta Eco-Serie oscila entre los 2.100 y 3.500 metros de altitud, dependiendo de la exposición, lo que se traduce en una superficie de 3.830 hectáreas reducida a las cumbres de los volcanes Nevados de Chillán, Antuco, Callaqui, Copahue y la Sierra Velluda (Rivera, 1989).

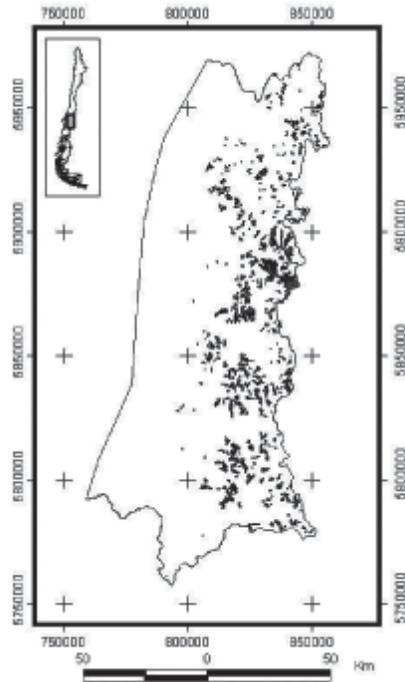
Figura 5. Eco-Serie de Alta Montaña nivo-glacial de morfogénesis activa



Fuente: Elaboración propia.

La Eco-Serie de Estepa Alto Andina de Balance Morfo/Edafogénesis ([Figura 6](#)) cubre una reducida superficie de 36.475 hectáreas, equivalente tan solo al 3,02% del área de estudio, perteneciendo al Eco-Distrito de Alta Montaña Nivo-Glacial. Este espacio representa el ecotono entre los Eco-Distritos de Media Montaña Forestal y Alta Montaña Nivo-Glacial, ubicándose dicha Eco-Serie entre los 1.800 y 2.000 m.s.n.m. La fisonomía del paisaje corresponde a vegetación tipo graminoide amacollada y en cojines adaptada al frío (Quintanilla, 1985) y eventualmente usada por la ganadería como veranadas. En cuanto al Índice del Balance Morfogénesis/ Edafogénesis, esta Eco-Serie se corresponde con valores entre 7 y 9, es decir, con un potencial medio para la edafogénesis.

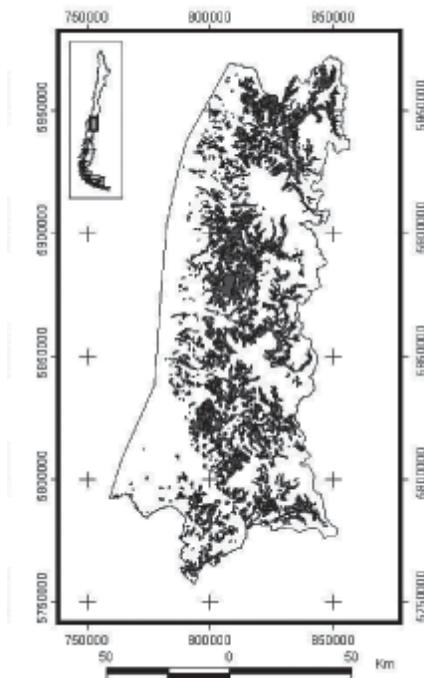
Figura 6. Eco-Serie de Estepa Alto Andina de balance morfo/edafogénesis



Fuente: Elaboración propia.

La Eco-Serie de Media Montaña de Morfogénesis Activa ([Figura 7](#)) cubre una superficie de 188.348 hectáreas, equivalente al 15,58% del área de estudio. Se trata de un espacio cuya morfogénesis activa es debida principalmente a procesos gravitacionales derivado de fuertes pendientes y baja cobertura vegetal. En cuanto al Índice del Balance Morfogénesis/Edafogénesis, esta Eco-Serie se corresponde con valores entre 3 y 6, es decir, con un bajo potencial para la edafogénesis.

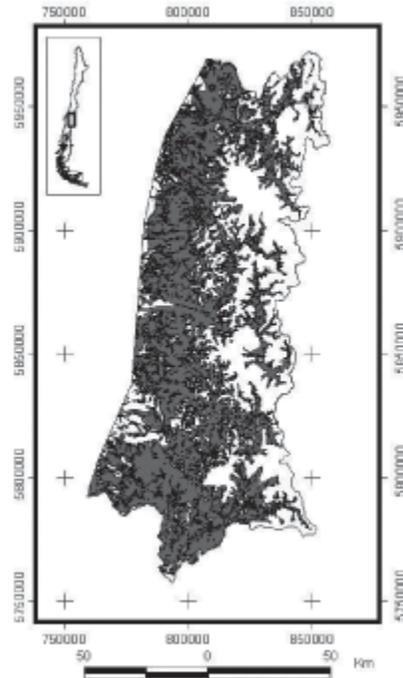
Figura 7. Serie de Media Montaña de morfogénesis activa



Fuente: Elaboración propia.

La Eco-Serie de Media Montaña de Balance Morfo/Edafogénesis ([Figura 8](#)) cubre una extensa superficie de 579.613 hectáreas, equivalente al 49,93% del área de estudio. En general, se trata de espacios naturales cuya situación de relativa estabilidad o integridad ecológica depende en gran medida del mantenimiento de la cobertura vegetal que impide el desarrollo de ciertos procesos morfogénicos, lo que deriva en una mayor edafogénesis. En cuanto al Índice del Balance Morfogénesis/Edafogénesis, esta Eco-Serie se corresponde con valores entre 7 y 9, es decir, con un potencial medio para la edafogénesis.

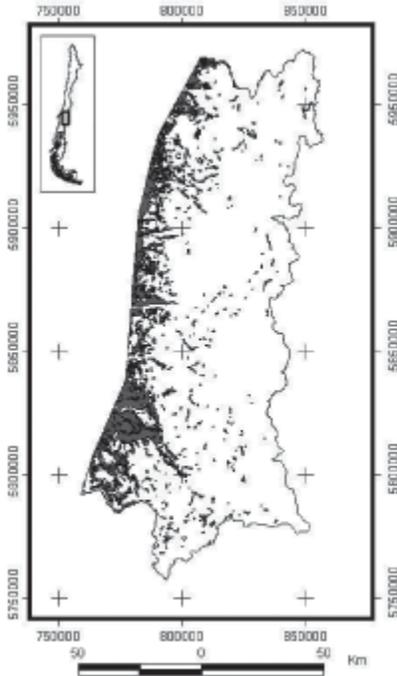
Figura 8. Eco-Serie de Media Montaña de balance morfo/edafogénesis



Fuente: Elaboración propia.

La Eco -Serie de Piedemonte de Edafogénesis Activa ([Figura 9](#)) cubre una superficie de 107.534 hectáreas, equivalente al 8,89% del área de estudio y se ubica entre los 200 y los 600 m.s.n.m. En general, esta zona establece una transición entre el llano central situado a niveles entre 100 y 200 m y las alturas contenidas en la cordillera de los Andes. En cuanto al Índice del Balance Morfogénesis/Edafogénesis, esta Eco-Serie se corresponde con valores entre 10 y 12, es decir, con un alto potencial para la edafogénesis. Desde el punto de vista morfogenético, el piedemonte andino es un complejo sistema de conos superpuestos, siendo los más antiguos de origen glaciovolcánico, luego fluviovolcánico y los más recientes de hidrocineritas (Börgel, 1983; Mardones, 2001). Esta Eco-Serie se ha visto transformado por actividad antrópica en zonas agrícolas o de plantaciones forestales en las áreas más bajas (600 metros de altitud).

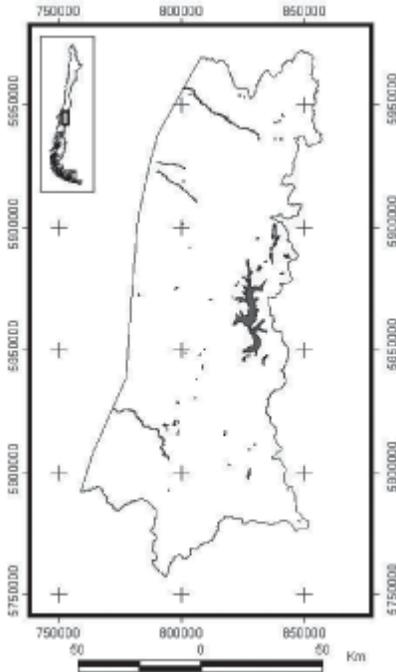
Figura 9. Eco-Serie de piedemonte de edafogénesis activa



Fuente: Elaboración propia.

Por último, la superficie cubierta con cuerpos de agua ([Figura 10](#)) en el área de estudio abarca 15.947 hectáreas, lo que representa un 1,32% del total, siendo la laguna del Laja el espacio más significativo. Esta ocupa un antiguo valle glacial cuyo drenaje ha sido obturado por numerosas coladas de lava y piroclastos provenientes del volcán Antuco, ubicándose a una altitud de 1.360 m.s.n.m. (Mardones, 2001). Actualmente, los sistemas fluviales del Laja-Polcura son de gran valor para la generación de energía hidroeléctrica a nivel nacional.

Figura 10. Cuerpos de agua



Fuente: Elaboración propia.

Reflexiones y conclusiones

Recordemos que para el desarrollo de este trabajo se consideró que un ecosistema no es más que una unidad funcional del planeta de cualquier magnitud que se autoorganiza en el tiempo y que está estructurada por elementos vivos y no vivos, incluidos los seres humanos, ligados por una trama de relaciones biofísicas de interdependencia. Por lo tanto, este enfoque ecosistémico se inició con la identificación de los factores de control más importantes que determinan los procesos biofísicos esenciales que definen la integridad de los sistemas ecológicos de la zona andina del Biobío. Esta tarea ha resultado bastante compleja por el alto grado de heterogeneidad ecológica del medio natural estudiado, que complica enormemente la caracterización de su integridad. Esta heterogeneidad se debe a factores bióticos y abióticos que, al operar simultáneamente en múltiples escalas espaciales y temporales, derivan en una gran variabilidad de procesos y patrones ecológicos. Para enfrentar esta problemática, se ha entendido al ecosistema como un sistema complejo, organizado, estructural y funcionalmente según una configuración jerárquica formada por una serie de componentes interdependientes, los que están constituidos por distintos compartimentos de su estructura abiótica y biótica y por los procesos biofísicos de carácter genético que determinan su comportamiento ecológico.

De esta manera, el medio natural del área de estudio ha podido dividirse en ecosistemas interdependientes de diferentes tamaños denominados Eco-Región, Eco-Distrito y Eco-Serie, agrupados alrededor de factores de control y procesos genéticos que definen uno o más niveles jerárquicos. Para el de Eco-Región se asumió que los límites del área de estudio se corresponden con los de la región administrativa, lo cual es una decisión arbitraria, pues es sabido el carácter continuo de los sistemas

naturales en el territorio, por eso dicha delimitación es solo una construcción artificial que debe ser ponderada en su justa medida. No obstante ello, existe un carácter de unicidad importante en el área de estudio, es un espacio natural que comparte una misma génesis y evolución en los aspectos macroclimáticos y geoestructurales, además de constituir un espacio político-administrativo cohesionado, hecho muy relevante para la gestión y el manejo de las áreas protegidas y el territorio regional.

La definición del segundo nivel jerárquico, el Eco-Distrito, tiene un alto grado de simplificación debido a que el factor de control seleccionado es de carácter mesoclimático, relacionado con la variación que impone el relieve, con lo cual resultan pisos bioclimáticos muy marcados. De estos pisos, se han seleccionado solo dos, cuyo ecotono ha sido establecido en los 1.800 metros de altitud. Esta decisión significó, por una parte, asumir que esa altitud es el reflejo de un cambio mesoclimático importante entre la alta y la media montaña, situación que en la realidad posee una gradualidad que no permite establecer un límite muy preciso. Además, la extensión latitudinal del área de estudio, cercana a los 250 km, permite suponer que dicho límite altitudinal puede ser un poco superior en el sector norte y levemente inferior en la parte sur de la zona andina, teniendo, además, algunas alteraciones según sea la exposición de solana o umbría de la ladera. No obstante ello, la disponibilidad de información para realizar una delimitación más precisa de los pisos bioclimáticos era muy escasa, y la óptica regional del estudio ha permitido realizar ciertas generalizaciones que no alteran significativamente los resultados finales.

Por último, el nivel de Eco-Serie fue el que revistió la mayor complejidad en su clasificación, en consideración a que el factor de control seleccionado fue el balance entre morfogénesis y edafogénesis, que representa una adecuada síntesis de las condiciones de estructura, función y dinámica del medio natural a ese nivel jerárquico. Para ello, se seleccionaron cuatro variables, en función de su carácter determinante para la edafogénesis, según antecedentes rescatados de la literatura: pisos climáticos, cobertura de vegetación, pendientes y tipo de material geológico. Dada la gran heterogeneidad y variabilidad en la distribución de estos factores por el espacio, se recurrió a una simplificación en tres rangos de categorías para cada una, relacionada con su potencial para la edafogénesis. No obstante esa simplificación, se obtuvo más de 20 mil polígonos para la zona andina que representaban la síntesis del potencial edafogénético, insumo clave para la determinación del balance entre morfogénesis y edafogénesis. En definitiva, a raíz de la simplificación de las variables, existe una significativa generalización de los resultados que solo podría ser superada recurriendo a un estudio en detalle, escala 1:50.000, para obtener resultados más precisos.

Ahora bien, el grado de validez de esta clasificación jerárquica de los ecosistemas andinos debe ser medida en consideración a su carácter regional, lo cual implica un nivel de generalización que puede parecer inadecuado particularmente para observar o plasmar fenómenos del componente biótico de los ecosistemas, que efectivamente requieren un mayor nivel de detalle. Lo importante es que esta clasificación no es excluyente de niveles jerárquico inferiores, en donde debieran tener una expresión más significativa los aspectos biológicos.

Por otra parte, el mayor aporte de esta clasificación de los ecosistemas está dado por su potencial carácter predictivo, pues es una adecuada síntesis de los principales procesos biofísicos del medio natural. Al definir los ecosistemas desde el punto de vista genético-funcional, es posible aportar en relación a la dirección del cambio en un determinado espacio o ecosistema, considerando la dinámica de sucesión y perturbación, en función de la modificación de las características de los factores de

control y sus procesos asociados, pero no en cuanto a la magnitud del cambio, pues ello requiere de análisis cuantitativos no abordados en esta investigación.

Por ejemplo, en términos de integridad, se considera que la escala de Eco-Serie o inferiores son muy sensibles, aunque la mayoría de sus tipos genético-funcionales tienen una gran capacidad de recuperación (altamente resilientes) frente a las perturbaciones naturales (i.e., fuego, sequía, inundaciones) o antrópicas (i.e., sobrecarga de ganado, alteraciones de la vegetación, pisoteo, fragmentación) que afectan prioritariamente a esas escalas menores, siempre y cuando no alteren significativamente su integridad. Por otro lado, los Eco-Distritos y la Eco-Región son menos sensibles a los cambios generados por perturbaciones naturales (i.e., cambios de clima, dinámica geoestructural) o antrópicas (i.e., extracción de aguas subterráneas), pero una vez producidos tienen una baja capacidad para recuperar su estado de referencia inicial y, por tanto, su integridad ecológica.

Esta definición del grado de sensibilidad y resiliencia de los ecosistemas está en estrecha relación con los patrones de sucesión ecológica y los regímenes de perturbación, aspecto que si bien no fue abordado en la investigación, la clasificación jerárquica de los ecosistemas permite iniciar un análisis global, considerando los niveles superiores e inferiores de la jerarquía.

Esto último es muy relevante al momento de definir estrategias de conservación o explotación de un territorio, pues el conocimiento del grado de sensibilidad y resiliencia de sus ecosistemas, a distintos niveles jerárquicos, resulta significativo para medir el potencial impacto de ciertas medidas de gestión. Por ejemplo, si tomamos la Eco-Serie de Media Montaña de Balance Morfo/Edafogénesis, significa que la relativa estabilidad de dicho ecosistema está dada, principalmente, por el mantenimiento de una adecuada cobertura vegetal que impide el desarrollo de procesos morfogenéticos, pues se trata de espacios con pendientes moderadas y/o un tipo de material geológico no suficientemente consolidado. Por tanto, un proceso de deforestación en un ecosistema de ese tipo tendrá efectos muy significativos sobre el funcionamiento global del ecosistema, pues se desatarían una serie de procesos morfogenéticos, cuya magnitud sería necesario medir, que no ocurrirán de igual manera si dicha intervención antrópica se desarrollara, por ejemplo, en la Eco-Serie de Piedemonte de Edafogénesis activa, en donde el impacto de la deforestación no será tan significativo para el funcionamiento global del ecosistema, pues los restantes factores, como pendiente y tipo de materiales, también son favorables a la edafogénesis.

De igual manera, el reconocimiento de los factores de control que le otorgan la integridad a un ecosistema permite focalizar los recursos conservacionistas hacia aquellos espacios más prioritarios. Por ejemplo, la capacidad de intervenir sobre el factor de control que determina a la Eco-Serie de Estepa Altoandina, es el mantenimiento de una incipiente cobertura vegetal que disminuye la morfogénesis, está directamente relacionada con lograr medir el impacto de la actividad ganadera de veranadas sobre dicha cubierta vegetal y determinar su capacidad de carga, para no alterar significativamente su integridad o su capacidad de resiliencia. Es decir, la identificación del factor de control permite reconocer el proceso clave que es fundamental para el funcionamiento del ecosistema.

Aceptando lo anterior, el considerar el carácter genético-funcional de los ecosistemas permite definir su integridad, con lo cual no solo se establecen sus requerimientos de conservación, sino también se pueden evaluar las potencialidades para la explotación de sus bienes y servicios ambientales, tanto para la obtención de recursos como para la asimilación de residuos. Este doble propósito de la clasificación jerárquica de

ecosistemas, que no ha sido profundizado durante la investigación, pero que deja abierta la posibilidad al respecto, permite, al menos teóricamente, establecer un vínculo entre las necesidades de conservación del medio natural y sus requerimientos para la explotación.

Bibliografía

ARMESTO, J.; VILLAGRÁN, C. & KALIN, M. (edit.) *Ecología de los bosques nativos de Chile*. Santiago: Editorial Universitaria, 1995.

[[Links](#)] BAILEY, R. *Ecosystem Geography*. New York: Springer-Verlag, 1996.

[[Links](#)] BÖRGEL, R. *Geografía de Chile*, Tomo Geomorfología. Santiago: Instituto Geográfico Militar Colección Geografía de Chile, 1983.

[[Links](#)] BRAUN-BLANQUET, J. *Fitosociología: bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Madrid: Ediciones Blume, 1979.

[[Links](#)] DE PABLO, C. y DE AGAR, M. Bases teóricas de la cartografía ecológica. *Revista Quercus*, 1993, Nº 88, p. 32-35.

[[Links](#)] MARDONES, M. *Geografía de Chile*. Tomo Región del Biobío. Santiago: Instituto Geográfico Militar Colección Geografía de Chile, 2001.

[[Links](#)] MARGALEF, R. *Teoría de los sistemas ecológicos*. Barcelona: Publicaciones de la Universidad de Barcelona, 1992.

[[Links](#)] MONTES, C.; BORJA, F.; BRAVO M. y MOREIRA, J. *Reconocimiento biofísico de espacios naturales protegidos. Doñana: una aproximación ecosistémica*, Andalucía: Junta de Andalucía-Consejería de Medio Ambiente, 1998.

[[Links](#)] PEDRAZA, J. *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Madrid: Editorial Rueda, 1996.

[[Links](#)] QUINTANILLA, V. *Geografía de Chile*. Tomo Biogeografía. Santiago: Instituto Geográfico Militar Colección Geografía de Chile, 1985.

[[Links](#)] RIVERA, A. *Inventario de glaciares entre las cuencas de los ríos Biobío y Petrohué*. Santiago: Departamento de Geografía -Universidad de Chile, 1989.

[[Links](#)] RODRÍGUEZ, J. *Ecología*. Madrid: Ediciones Pirámide, 1999.

[[Links](#)] SERVICIO NACIONAL DE TURISMO (SERNATUR). *Análisis de alternativas y perspectivas de desarrollo turístico del sector Laguna del Laja, Volcán Antuco. Región del Biobío*. Santiago: SERNATUR, 1985.

[[Links](#)] TRICART, J. y KILIAN, J. *La ecogeografía y la ordenación del medio natural*. Barcelona: Editorial Anagrama, 1982.

[[Links](#)] ZONNEVELD, I. Basic principles of classification. In: KLIJN, F. (ed.) *Ecosystem classification for environmental management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1994, p. 27-47.

[[Links](#)]¹ Artículo recibido el 16 de marzo de 2005 y aceptado el 4 de mayo de 2006.