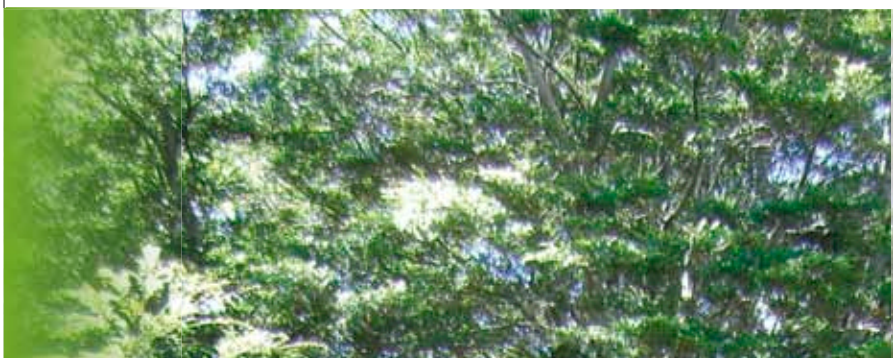
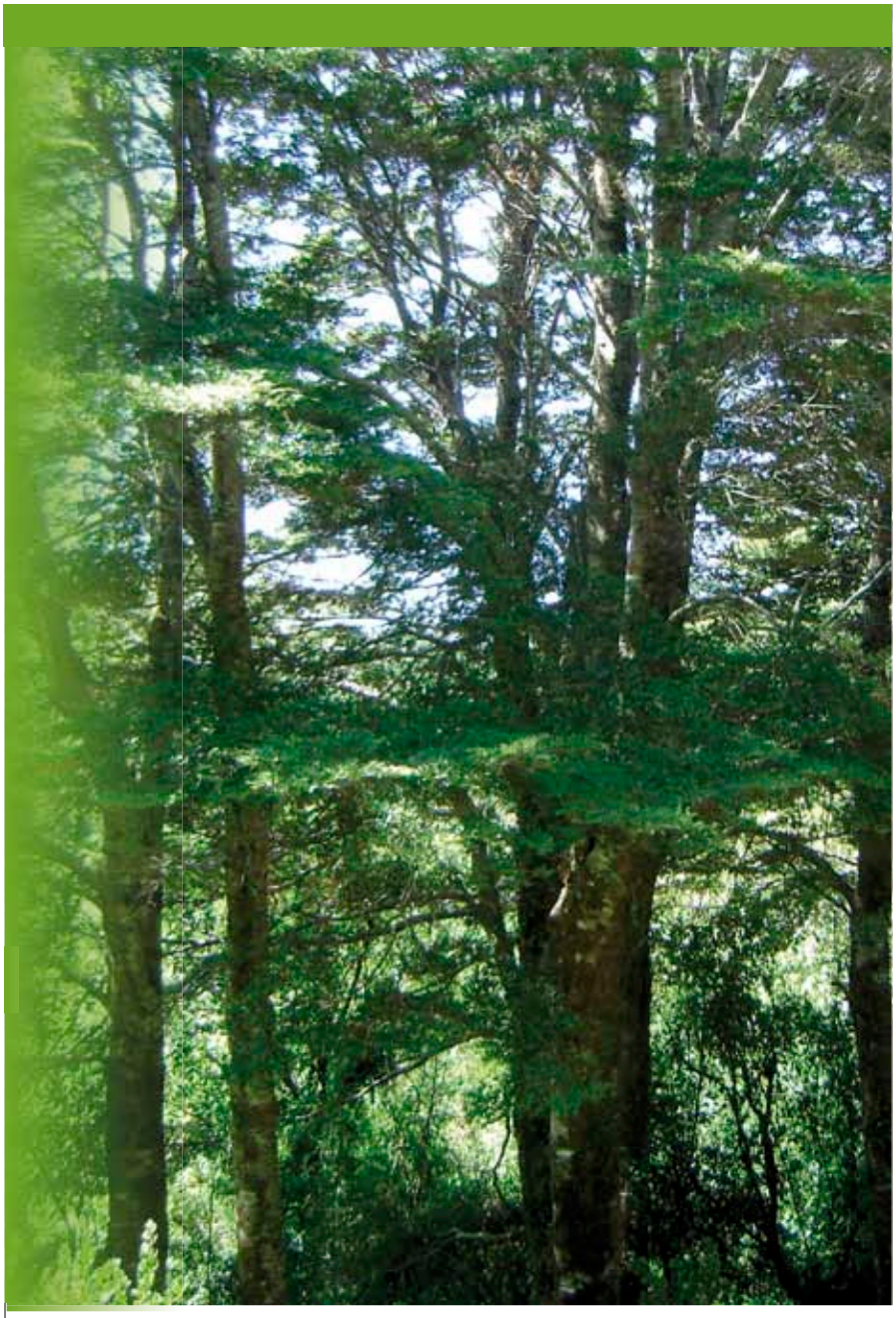


Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

REPORTE DE SUSTENTABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES NATIVOS REGIONES DEL MAULE A MAGALLANES



Informe Técnico Nº 180

INFOR

INSTITUTO FORESTAL
CHILE 2011

REPORTE DE SUSTENTABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES NATIVOS REGIONES DEL MAULE A MAGALLANES

Carlos Bahamóndez Villarroel[1]
Marjorie Martin Stuven
Alejandra Pugin Langenbach
Paola Jofré Filgeira
Sabine Müller-Using Wenzke
Yasna Rojas Ponce

Edición
Santiago Barros Asenjo[2]

1 Ingeniero Forestal. Investigador Sede Valdivia. Instituto Forestal. Chile carlos.bahamondez@infor.cl
2 Ingeniero Forestal. Relaciones Internacionales y Transferencia Tecnológica santiago.barros@infor.cl
www.infor.cl

Instituto Forestal
Chile
Diciembre 2010

Sucre 2397 Ñuñoa
Santiago
Tel. 56 2 3669115
www.infor.cl

Registro Propiedad Intelectual N° 203.598
ISBN N° 978-956-318-037-4

PRÓLOGO

Sabido es que los bosques juegan un papel fundamental para la supervivencia del planeta y el bienestar de la sociedad. No se puede concebir la existencia humana sin la presencia de ellos como elemento constituyente y necesario que brinda el indispensable soporte social, económico, ambiental, cultural y estético.

Cerca de un tercio de las áreas terrestres disponibles en el planeta está cubierto de bosques que constituyen el sostén de la vida, participan en la regulación del clima, del ciclo del agua y de la diversidad biológica, proveen hábitats y micro hábitats que permiten la existencia de innumerables especies, poblaciones y ecosistemas. Es este recurso natural el que inicia la cadena de transformación energética del Sol de la cual todos los organismos vivos, incluido el ser humano, forman parte.

Los múltiples bienes y servicios del bosque, sostén de economías locales, regionales y nacionales, han provisto beneficios y bienestar a los seres humanos desde los inicios de la historia, razón por la cual un país con bosques es un país con enormes activos para su desarrollo.

Chile obedece a esta condición de privilegio; posee una gran riqueza de bosques cuyo carácter endémico, tanto en lo referente a especies como a ecosistemas, es reconocido mundialmente. Por ello, es imperativo hacer todo lo necesario para recuperar, mantener y mejorar este irreemplazable bien y asegurar su estabilidad para beneficio de las generaciones venideras.

El Reporte de Sustentabilidad de los Ecosistemas Forestales Nativos se enmarca en este contexto, su propósito es aportar información a quienes, de una u otra forma, se relacionan con la gestión de los recursos forestales a fin de apoyar su toma de decisiones, favorecer procesos de generación de políticas y contribuir a que los diversos grupos de interés tomen conciencia de la responsabilidad que les corresponde respecto del futuro de este recurso natural tan valioso y tan nuestro.

Hans Grosse Werner
Director Ejecutivo
INSTITUTO FORESTAL

INDICE

	Página
PRÓLOGO	**03**
INTRODUCCIÓN	**09**
METODOLOGÍA	**13**
MODELO DE PRESIÓN-ESTADO-RESPUESTA	13
SISTEMA AMBIENTAL INDICADORES Y VARIABLES	14
Indicador de la Diversidad de Paisaje	16
Indicador de la Diversidad de Bosque-Rodal	18
SISTEMA STRESS SOBRE ECOSISTEMAS INDICADORES Y VARIABLES	21
Indicador *Stress* Sobre los Ecosistemas	22
Indicador Presión Poblacional	23
Indicador Stress en Sistemas Hídricos	23
SISTEMA CAPACIDAD SOCIAL E INSTITUCIONAL INDICADORES Y VARIABLES	23
Indicador Gobierno Ambiental	24
Indicador Ciencia y Tecnología	25
APROXIMACIÓN FISIOGRÁFICA PARA GENERACIÓN DE RESULTADOS	25
Subdivisión Área de Trabajo	25
Asignación de Puntajes a Variables Verificadoras	25
ORIGEN DE LA INFORMACIÓN	27
Mediciones Asociadas a los Ecosistemas Forestales Nativos	29
Diseño Muestral	29
RESULTADOS	**33**
RESULTADOS GENERALES	33
SÍNTESIS GRÁFICA	33
Síntesis Gráfica por Regiones	34
Síntesis Gráfica por Regiones y Zonas Fisiográficas	36
Síntesis Gráfica según Indicadores	41
Síntesis Gráfica según Variables Verificadoras	49
ANÁLISIS DE TENDENCIAS	54
Tendencias de Sustentabilidad por Región	54
Tendencias de Sustentabilidad por Región y Zona Fisiográfica	54
DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	**59**
CONCLUSIONES	**65**
REFERENCIAS	**69**

Introducción

Introducción

INTRODUCCIÓN

Contar con una medida que refleje o represente el grado de compromiso que la sociedad tiene con los ecosistemas forestales nativos, en términos de su sustentabilidad, se justifica a la luz de la necesidad país de responder a compromisos nacionales e internacionales respecto de hacer un manejo sostenible de ellos en términos de utilizar su provisión de bienes y servicios en las actividades productivas actuales y, como aporte al desarrollo económico y social del país. Todo ello, sin comprometer el que las generaciones futuras puedan disponer de iguales o mejores beneficios de ellos.

A partir de la Cumbre de Río en 1992 se socializó en el mundo el concepto de sustentabilidad, el cual ya había sido esbozado en sus principios fundamentales cuando la Comisión Brundlandt en 1987 enunció la actual definición, que constituye una potente declaración de principios que advierte sobre las consecuencias que sin lugar a dudas tendrá en el futuro aquello que se hace hoy.

A raíz de la reunión de Río se suscitaron varias convenciones refrendadas por los países en completa conciencia de la necesidad de actuar a tiempo con respecto a los recursos naturales del planeta. Entre ellas resaltan la convención de la Diversidad Biológica y la de Cambio Climático y, adicionalmente quedó en acuerdo, en forma de principios forestales, todo lo referente a los bosques y su manejo forestal sustentable, lo que dio posteriormente origen a iniciativas tales como el Proceso de Montreal, sobre criterios e indicadores para el manejo sustentable de los bosques templados y boreales, por ejemplo, que involucra a Chile.

Dar cuenta de la sustentabilidad de los bosques nativos es una tarea difícil por su complejidad, en particular porque tiene tres componentes principales que deben estar en balance; la ambiental, la económica y la social. La aproximación a la sustentabilidad varía localmente (Wright *et al*., 2000) y esto dificulta aún más su medición y posterior evaluación.

La sustentabilidad es un atributo constituyente de los sistemas que presentan una dinámica en el tiempo y, por ende, se mueve con el desarrollo y evolución de la sociedad humana, esto es, lo que sería sustentable en el pasado posiblemente no lo sería en la época actual.

El presente reporte constituye el primero en su género aplicado a los ecosistemas forestales nativos de las regiones de Maule, Bio Bio, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos Aysén y Magallanes. Su propósito es dar cuenta de las tendencias demostradas en la sustentabilidad de los ecosistemas forestales desde la perspectiva de aspectos económicos, sociales y ecológicos.

El énfasis del reporte se encuentra en la provisión de información gráfica orientada a organismos, profesionales y personas que tienen poder de decisión respecto del tema o están interesados en conocer el desempeño de

los aspectos de sustentabilidad de los ecosistemas forestales nativos. Este no es entonces un reporte técnico, en el sentido de detallar los aspectos técnico-metodológicos más allá de lo necesario, sino más bien un reporte descriptivo del estado y condición de los ecosistemas forestales nativos basado en el uso de variables indicadoras.

El enfoque metodológico es el de Presión-Estado-Respuesta, el cual es aplicado para la determinación de los indicadores necesarios para el logro de los objetivos. Este modelo metodológico ha demostrado ser exitoso en otras publicaciones similares descritas en la literatura. A objeto de elaborar el reporte se aplicó una jerarquización en tres sistemas fundamentales, el Sistema Ambiental, el Sistema de Estrés y el Sistema Sociedad.

El reporte comprende la integración de la información originada en terreno, considerada como “verdad de terreno”, la cual es levantada por el Instituto Forestal (INFOR) dentro de los programas “Inventario Continuo de los Ecosistemas Forestales” y “Monitoreo de la Sustentabilidad de los Ecosistemas Forestales Nativos”. La verdad de terreno es procesada y traducida en una serie de indicadores que pretenden definir las grandes tendencias que demuestran los ecosistemas respecto de su sustentabilidad.

Metodología

Metodología

METODOLOGÍA

La metodología utilizada divide inicialmente el análisis de la sustentabilidad en sistemas para facilitar la posterior identificación y colección de datos e información en un grupo de componentes o sistemas claves, los cuales reflejarían las condiciones de presión sobre el recurso, el estado del recurso y la capacidad de respuesta de la sociedad ante acciones de presión.

A la postre se definen entonces tres sistemas; el Sistema Ambiental, el Sistema *Stress* y el Sistema Sociedad. El modelo aplicado a esta tarea comprende el modelo de Presión-Estado-Respuesta (PSR).

MODELO DE PRESIÓN-ESTADO-RESPUESTA

El modelo de análisis Presión-Estado-Respuesta (PSR por su sigla en inglés) ha sido la piedra angular de variados estudios que pretenden conectar los elementos ambientales y su realidad actual con el desempeño ambiental de la sociedad en la que estos se desenvuelven, se pueden mencionar entre estos, los reportes que la OECD (*Organisation for Economic Cooperation and Development*) ha producido desde 1970, basada en este esquema de trabajo y sus derivados. Este modelo permite analizar el grado de interacción entre la presión sobre los ecosistemas, el estado de estos y la respuesta a estas presiones dado su estado.

El PSR implica causalidad y se asume que las actividades del ser humano generan presiones sobre el ecosistema y esto produce una alteración o disturbio en su estado, afectando su cantidad y calidad, y la sociedad por su parte responde a estos efectos por medio de acciones en específico o en general. Las tres componentes se pueden definir como:

Presión: Las presiones no necesariamente indican acciones directas sobre los ecosistemas sino también la aparición de tendencias de mercado, fuerzas productivas en desarrollo o potenciales que se visualiza serán fuerzas dominantes sobre los ecosistemas boscosos. Por supuesto, acciones directas de alteración sobre algunos recursos del ecosistema o acciones indirectas derivadas de la actividad productiva (contaminación, ingreso de nuevas especies, plantaciones, etc.) constituyen también presiones sobre el ecosistema.

Estado: El estado de los ecosistemas se refiere a la cantidad y calidad de los bienes y servicios provenientes de ellos. Los ecosistemas son el objeto final para la elaboración de políticas y, en consecuencia, su condición es de alta importancia por los efectos que estos tendrían sobre la población humana y su bienestar.

Respuesta: Cuán amplia es la respuesta de la sociedad respecto del

estado de los ecosistemas y las presiones a que estos son sometidos es el objetivo de este constituyente del modelo. La preocupación de la sociedad respecto de los ecosistemas forestales nativos es medida o aproximada aquí mediante el registro de iniciativas formales en pro del bienestar y perpetuación de los ecosistemas en el tiempo.

En la Figura N° 1 se resume la lógica del Modelo PSR.

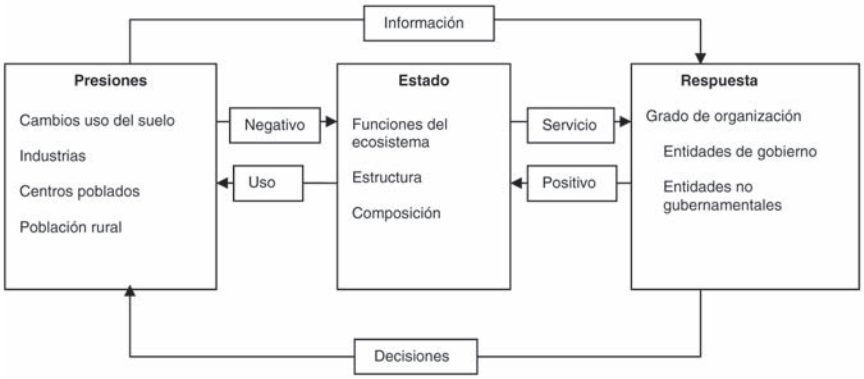


Figura N° 1.
MODELO PSR APLICADO EN EL CONTEXTO DE ESTE REPORTE

Considerando el modelo planteado en la Figura N° 1, se define un grupo de indicadores de forma de representar lo mejor posible la situación de sustentabilidad de los ecosistemas en observación, en este caso los ecosistemas forestales nativos de las regiones de Maule, Bio Bio, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos, Aysén y Magallanes.

La fortaleza de este modelo radica en que es posible enfatizar en aquellos temas de mayor sensibilidad en el contexto de los ecosistemas forestales. En el caso de este estudio se considera que la mejor forma de representar un ecosistema es aquella que describe su estructura, función y composición. Sobre la base de este concepto, se definió un grupo mínimo de indicadores que permitan monitorear los ecosistemas, para de este modo determinar su estado de sustentabilidad. En este contexto se definieron tres áreas de interés, para las cuales se identifican indicadores y posteriormente variables verificadoras.

SISTEMA AMBIENTAL INDICADORES Y VARIABLES

El sistema ambiental se define como aquel que da cuenta del estado de los ecosistemas forestales nativos en el área de interés. El estado se refiere al grado de integridad del ecosistema en relación a su rol en los ciclos de nutrientes, de agua y transmisión de la información (sucesiones). Por otra parte, se aproxima la condición de los ecosistemas como un análisis de las tendencias que el sistema está demostrando.

Como premisa básica se asume aquí que el ecosistema es sustentable

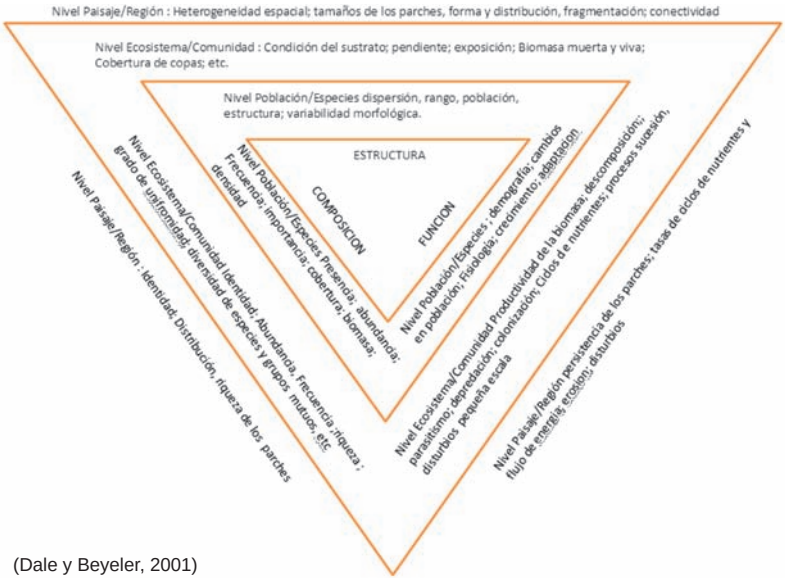
si sus funciones se mantienen o mejoran en el tiempo. Para evaluar esto se recurre a la identificación de variables indicadoras y de sus correspondientes variables verificadoras. Estas variables se identifican tomando en consideración que los ecosistemas pueden describirse desde el punto de vista de su estructura, función y composición (Noss, 1990).

Estructura: La estructura se refiere al arreglo espacial de los varios componentes de los ecosistemas, estos arreglos se pueden dar a distintas escalas, por ejemplo a escala paisaje, a escala rodal, de cohortes o de árbol. La estructura se define a nivel de varios atributos, los cuales al ser identificados pueden ser medidos por estimación de abundancia, abundancia relativa, variación en tamaños y riqueza, por ejemplo.

Función: La función se refiere a cómo los procesos ecológicos son logrados, cómo se comportan y a qué tasas ellos ocurren: Lo importante de esto es que lo que se ve en estructura y composición es el resultado de los procesos ecológicos y éstos a su vez son interdependientes de los atributos de composición y estructura.

Composición: Composición se refiere a la identidad de los diversos elementos que componen el ecosistema y por ende lo caracterizan.

Dale y Beyeler (2001) explican el enfoque jerárquico propuesto por Noss (1990) de acuerdo al diagrama de la Figura N° 2, el cual constituye la base para la identificación de variables indicadoras en programas de monitoreo de biodiversidad.



(Dale y Beyeler, 2001)

Figura N° 2:
ENFOQUE JERÁRQUICO PARA EXPLICAR LOS ECOSISTEMAS

El sistema ambiental fue evaluado bajo variables indicadoras y verificadoras, las cuales fueron seleccionadas bajo los enfoques descritos en la Figura N° 2 y también considerando la disponibilidad de datos e información desde terreno (Inventario Continuo), que se describen en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1.
INDICADORES Y VARIABLES DEL SISTEMA AMBIENTAL

Sistema	Indicador	Variable	Código Variable
Sistema Ambiental	Diversidad de Paisaje	Tamaño medio del parche ponderado por el área	AWMPS
		Densidad de parches	PD
		Dimensión fractal media del parche	MPDF
		Índice de Diversidad de Shannon	SHDI
	Diversidad a Bosque-Rodal	Residuos gruesos	RG
		Índice de Shannon de especies	SHSP
		Índice de Shannon tamaño de árboles muertos	SHMU
		Diámetros de árboles muertos en pie	DAPM
		Cobertura de copas sobre el suelo	COBS

La evaluación del Sistema Ambiental se aplica en este reporte en base al análisis descriptivo de la diversidad separado en dos escalas; la escala Paisaje y la escala Bosque-Rodal.

Indicador de la Diversidad de Paisaje

La diversidad de paisaje tiene que ver con las características de conectividad de los bosques y su entorno. En este contexto, la fragmentación espacial es un indicador que se asocia a la capacidad de respuesta de los bosques a sostenerse en su variabilidad genética. El grado de aislamiento produce estrechez genética en el largo plazo y hace finalmente vulnerables a las poblaciones. El efecto del manejo forestal también produce efectos en la genética de las poblaciones involucrando el riesgo de afectar la resiliencia de las mismas ante cambios ambientales profundos (ej. Cambio Climático).

Los cambios en la diversidad del paisaje se deben en su mayoría a efectos de cambios de uso del suelo, con tendencias a la homogenización de grandes áreas dedicadas a usos productivos en grandes extensiones. Si el paisaje no es diverso en términos del bosque, puede leerse como un efecto de la intervención humana o un efecto catastrófico sobre las formaciones boscosas, como sucede en las formaciones de los llamados renovales, que provienen de intensas sobre utilizaciones o de incendios.

Para estimar la biodiversidad a nivel de paisaje se trabajó con las coberturas del bosque nativo del Catastro (CONAF-CONAMA, 1997). En particular, este estudio trabaja con las regiones de la Araucanía, Los Ríos y la parte norte de Los Lagos. Se estiman índices espaciales que a su vez

permiten determinar la estructura, composición y calidad de hábitat. Así se desarrolla una herramienta que permite el monitoreo de la biodiversidad.

Un programa de monitoreo de la diversidad debe buscar el método apropiado, que considere las particularidades de cada paisaje y los indicadores que permitan determinar si los cambios que se producen tienen efectos positivos o negativos.

Es importante reconocer que las actividades humanas han sido la mayor fuente de cambios en el paisaje, en particular en la homogenización a través de la conversión al uso agrícola de áreas boscosas. Así también la estructura de propietarios del bosque, en particular de los privados, produce impactos sobre la biodiversidad de los bosques, generando también mayor homogeneidad, en particular a través del manejo.

Para alcanzar sistemas de monitoreo eficientes, que permitan la comprensión de los cambios y su nexo con los procesos ecológicos, se requiere conocer en detalle la estructura espacial del paisaje. Desde los años 80 empiezan los esfuerzos por estudiar la heterogeneidad espacial del paisaje y, a la fecha, se han generado numerosos indicadores que permiten cuantificar distintos aspectos de esta heterogeneidad.

La fragmentación forestal, concepto que alude a la subdivisión de bosques, originalmente continuos, hacia parches de variado tamaño aislados unos de otros por tipos de ambientes modificados (Haila, 1995) tiene un impacto directo sobre la declinación de la diversidad (Whitmore, 1997). Otra consecuencia derivada de esta partición es el aumento de la cantidad de ambientes de borde, situación que produce distintos efectos entre los que se destacan:

Abióticos: Como los cambios micro climáticos (luminosidad, evapotranspiración, temperatura ambiente, velocidad del viento, humedad del suelo, entre otros).

Bióticos Directos: Ejemplificados por los cambios de abundancia de especies y relacionados directamente con las variaciones de las condiciones micro ambientales y con las características fisiológicas de cada especie.

Bióticos Indirectos: Como los procesos de interacción entre las especies, tales como depredación, parasitismo, competencia, acción de herbívoros, polinización y dispersión de las semillas (Murcia, 1995). Los trabajos más recientes plantean que para lograr un manejo exitoso de los ecosistemas forestales es necesario aumentar el entendimiento de cómo las comunidades vegetales dentro de paisajes forestales han sido formadas e influidas por los usos pasados de la tierra y cómo responden a las prácticas actuales (Jenkins y Parker, 2000).

Las variables verificadoras utilizadas para describir el Indicador de Diversidad de Paisaje son:

- **Tamaño Medio del Parche Ponderado por el Área (AWMPS)**

Corresponde al promedio ponderado del tamaño del parche, donde parche (patch) se define como una entidad continua espacialmente. El promedio simple del área de los parches es sensible al gran número de pequeños parches en el paisaje, por tanto se utiliza una ponderación que minimiza este efecto. A menor tamaño en el área promedio de los parches, mayor fragmentación del paisaje.

- **Dimensión Fractal Media del Parche (MPFD)**

La dimensión fractal es una medida de la complejidad de las formas del paisaje. Cuando las formas son más complejas y presentan una mayor proporción de líneas rectas, entonces el efecto de las actividades humanas en el paisaje se asume mayor.

La dimensión fractal se presenta con valores entre 1 y 2, cuanto mayor es el valor, más complejas son las formas en el paisaje bajo observación.

- **Densidad de Parches (PD)**

Este índice es igual al número de parches en cada clase, por cada 100 ha de esa clase. Es decir cuantos parches hay en cada 100 ha. Esto permite hacer comparables unidades de paisaje con distinto tamaño de áreas. A mayor número de parches por cada clase de 100 ha, mayor fragmentación del paisaje.

- **Índice de Diversidad de Shannon (SHDI)**

Este índice tiene un valor cero cuando en todo el paisaje hay un solo parche, es decir, cuando no hay diversidad. El valor del índice aumenta a mayor número de diferentes tipos de parches o con una distribución más proporcional del área entre distintos tipos de parches.

Indicador de la Diversidad de Bosque-Rodal

La diversidad a escala bosque-rodal involucra un análisis del estado local de la diversidad, el cual es relativo al entorno en que este rodal se desenvuelve. Los atributos de estructura y composición son elementos claves a esta escala, pues ellos determinan los procesos ecológicos locales y por ende su desempeño futuro y su mantención, degradación o vulnerabilidad. Entre estos se pueden mencionar elementos claves del rodal que caracterizan la vegetación como:

Elementos de Follaje: Diversidad en altura de follaje, número de estratos, grado de densidad de copas, elementos de copas, cobertura de copas, clases de tamaños de claros (*gaps*), proporción de copas con ápices quebrados.

Elementos de Árboles: Diámetros, desviación estándar de diámetros, diversidad de tamaños, variación horizontal de diámetro, distribución diamétrica, número de árboles grandes, altura de estrato superior, desviación estándar de alturas, variación horizontal en alturas, número de árboles por hectárea.

Elementos de Biomasa: Área basal, volumen, diversidad de especies, abundancia de especies, material muerto en suelo, volumen de residuos gruesos, volumen de residuos gruesos por clase de descomposición, diámetros de material muerto.

De estos se seleccionaron las siguientes variables:

- **Residuos Gruesos (RG)**

Los residuos gruesos constituyen un indicador de la historia del rodal, de su estado autotrófico o heterotrófico y del grado de sustentabilidad del ciclo de nutrientes en el sitio específico. Se considera para su asignación de puntaje una matriz de clasificación de doble entrada, en que una entrada es el tamaño de los individuos muertos en el suelo (diámetros <100 cm y diámetros >=100 cm) y en la otra entrada el grado de descomposición del material muerto (grados 1-3 en clase I, y >3 en clase II) donde las clases de descomposición se derivan del Cuadro N° 2 proveniente del inventario.

Cuadro N° 2.
CLASES DE DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS GRUESOS

Clase	Integridad Estructural	Textura Porciones Degradadas	Color Madera	Raíces Invasoras	Ramas y Ramillas
1	Troza sana intacta y reciente	Intacta, sin degradación sin cuerpos frutales visibles de hongos	Color original	Ausentes	Existen ramas y ramillas presentes aun en troza, corteza aun firme y pegada
2	Sana	Mayoritariamente intacta, medula parcialmente blanda, inicio de degradación, pero no puede arrancarse a mano desnuda	Color original	Ausente	Existen ramas y muchas de las ramillas ya no existen, corteza pelada en algunas porciones
3	Xilema sano (troza capaz de soportar su propio peso)	La medula se encuentra ausente o se puede arrancar vía manual	Color original a café rojizo	Solo xilema	Las ramas no se sueltan a nivel del cuello
4	Xilema descompuesto troza no soporta su propio peso, pero mantiene su forma	Piezas en forma de bloque, blandas, su puede hundir un pieza metálica	Café claro a rojizo	Presencia total de raíces	Las ramas se sueltan solas
5	Ninguna pieza mantiene su forma	Blanda, polvorienta cuando está seca	Café Rojizo a café oscuro	Presencia total de raíces	Uniones de ramas degradadas

En este esquema, la tabla de doble entrada, de acuerdo al Cuadro N° 3, arrojará como escenario óptimo aquel en que la cantidad de biomasa es alta y similar en cada una de las 4 casillas (sobre 200 t/ha), por contraste el escenario más negativo es la total ausencia de material de desecho en las 4 casillas.

Cuadro N° 3.
TABLA DE DOBLE ENTRADA PARA RESIDUOS GRUESOS

Clases de Descomposición	Diámetros Residuos (<100 cm)	Diámetros Residuos (>=100 cm)
1-3		
>3		

- **Índice de Shannon Tamaño de Árboles Muertos (SH)**

La distribución de tamaños (diámetros) de los árboles muertos se puede representar en la forma de una función de distribución diamétrica, pero esto la hace poco comparable y se requiere una aproximación más sintética, por ello la opción de estimar el Índice de Shannon de clases diamétricas ($SH = -\sum p_i \ln(p_i)$) parece la más apropiada.

El diámetro de los árboles es una variable clave en los bosques, puesto que discrimina etapas de sucesión, describe funciones del ecosistema y caracteriza hábitats de vida silvestre. El valor medio de diámetro

puede ser similar en rodales jóvenes comparado con el de rodales viejos, pero su variación llega ser 2 o más veces en rodales viejos que jóvenes. Esta alta diversidad de diámetros permite la oportunidad de un mayor número de hábitats y microhábitats dentro de un simple rodal permitiendo soporte apropiado a la biodiversidad.

- **Diámetros de Árboles Muertos en Pie (DAPM)**

El diámetro de árboles muertos en pie se divide en dos grandes clases; aquellos mayores a 100 cm y aquellos menores a 100 cm. En cada clase se estima el número de árboles por hectárea y se utiliza éste como un indicador de la calidad del bosque, como soporte de la vida silvestre, hongos, artrópodos, mamíferos y aves. El límite de 100 cm es considerado un valor empírico que marca el paso de maduro a sobre maduro, indicativo de un cambio de un proceso autotrófico a uno heterotrófico.

- **Índice de Shannon de Especies (SHSP)**

El estimador de riqueza de especies más característico es el Índice Shannon asociado a las frecuencias de especies por unidad de área. Valores mayores de este índice reflejan mejor riqueza en especies.

- **Cobertura de Copas sobre el Suelo (COBS)**

La cobertura de copas sobre el suelo es una importante característica de la estructura vertical de los bosques, es indicativa de la productividad del rodal, de la distribución y de la abundancia de biomasa, regula el ciclo reproductivo de algunas especies y maneja el microclima. La cobertura de copas varía según el estado de desarrollo, típicamente en bosques pioneros de especies del género *Nothofagus*, por ejemplo, se da una cobertura de copas que inicia una colonización del espacio aéreo en forma progresiva hasta lograr capturar todo el espacio disponible, luego el desarrollo de la competencia eventualmente generara espacios (*gaps*) que son fuente de diversidad en especies, estructura y catalizador para ciclos del agua y de los nutrientes, caracterizándose por una etapa de liberación de energía almacenada mediante transformación a unidades reutilizables por microorganismos, hongos, vida silvestre, artrópodos, y otros. Desde el punto de vista del sostén de la diversidad biológica, es mejor una estructura de copas heterogénea que una uniforme y, si se considera lo que algunos autores indican como unidad promedio, en un sistema de *gaps* de unidades de hasta 1000 m^2 (Veblen *et al*., 2004) en los bosques nativos del país, se estima como positivos valores de coberturas mayores a 60%.

SISTEMA STRESS SOBRE ECOSISTEMAS INDICADORES Y VARIABLES

Muchos de los procesos de cambio, tales como la deforestación y la

degradación de los recursos, obedecen a factores propios del entorno y a cómo estos se distribuyen espacialmente en el territorio.

Entre estos factores se tienen elementos tales como el nivel de ruralidad, la pobreza, el aumento de plantaciones con especies exóticas, la falta de zonas de manejo de cauces, el tipo de suelo, las características geomorfológicas y la propiedad de la tierra, todas ellas hacen que zonas boscosas sean dedicadas a otros usos o actividades que se evalúan como más atractivas o rentables.

La idea central de este componente es identificar indicadores o elementos que contribuyen o marcan tendencias sobre la existencia de presión antrópica sobre los ecosistemas forestales. En este sentido, una comuna será probablemente más sostenible desde el punto de vista ambiental, si presenta reducidos valores en los indicadores propuestos.

En el Cuadro N° 4 se resume los indicadores propuestos y sus respectivas variables.

Cuadro N° 4.
INDICADORES Y VARIABLES SISTEMA STRESS AMBIENTAL

Componente	Indicador	Variable	Código Variable
Existencia Stress Ambiental	Stress Sobre Ecosistemas	Porcentaje comunal ocupado por plantaciones exóticas	PLANT
	Presión Poblacional	Ruralidad	RURA
	Stress en Sistemas hídricos	Existencia de Zona de Manejo de Cauces	ZMC

La evaluación del Sistema Stress Ambiental se aplica en este reporte según el análisis de los indicadores y variables que se describen a continuación.

Indicador *Stress* Sobre los Ecosistemas

Los cambios de uso del suelo reflejan las tendencias y presiones sobre los recursos. En el caso del bosque, el aumento o disminución de su cobertura en el territorio es considerado un indicador de los procesos asociados a actividades eminentemente antrópicas. La variable relacionada a este indicador es:

- **Porcentaje Comunal Ocupado por Plantaciones Exóticas**

Porcentaje de cobertura de plantaciones forestales exóticas respecto al

total de la superficie comunal. Es una variable indicadora de cómo los cambio de uso debidos a aumento de superficie de especies exóticas puede producir mayores presiones a aislar áreas o influir sobre áreas con ecosistemas nativos.

Esta variable indica procesos de recuperación de terrenos degradados por excesivo uso agrícola y su presencia es indicador de efectos pasados de cambios de uso del suelo para uso agrícola, aunque también refleja efectos de presión económica sobre suelos forestales de pobre o nulo valor económico.

Indicador Presión Poblacional

Este indicador identifica aquellos elementos que caracterizan a la población comunal. Dichos elementos son orientadores de la presión hacia la utilización excesiva o degradación de los recursos naturales.

- **Ruralidad**

Porcentaje de habitantes que habitan en áreas rurales respecto del total. Se plantea que la existencia de áreas rurales con mayor densidad poblacional provoca una mayor presión a la utilización de bosques.

Indicador *Stress* en Sistemas Hídricos

Los recursos hídricos pueden ser fuertemente alterados en su calidad, dependiendo de las prácticas y actividades de manejo que se realizan en torno a los cuerpos de agua (ríos, esteros, lagos). La variable considerada es la siguiente:

- **Existencia de Zona de Manejo de Cauces en Torno a Cursos de Agua**

Existencia de una banda de bosques nativos o Zona de Manejo de Cauces (ZMC) de 20 m alrededor de los cuerpos de agua. Es expresado como porcentaje de la superficie total que debería contar con ZMC de especies arbóreas.

SISTEMA CAPACIDAD SOCIAL E INSTITUCIONAL INDICADORES Y VARIABLES

Una región, comuna o grupo de ellas es probablemente más ambientalmente sostenible en la medida que posee instituciones y organizaciones sociales que promueven respuestas efectivas a cambios ambientales.

Un cambio ambiental puede tener efecto de corto plazo y sus efectos negativos ser debidamente mitigados si en el área de acción la sociedad está consciente de los riesgos que implican ciertas actividades, ésta alerta es más efectiva y oportuna si la sociedad toda se encuentra debidamente organizada y su grado de conocimiento es suficiente.

En este sistema, se proponen los indicadores y variables que se indican en el cuadro N° 5.

Cuadro N° 5.
INDICADORES Y VARIABLES SISTEMA CAPACIDAD SOCIAL E INSTITUCIONAL

Componente	Indicador	Variable	Código Variable
Capacidad Social e Institucional	Gobierno Ambiental	Iniciativas de Agenda 21 local	AG21
		Número de organizaciones ambientales en la comuna	NOAMB
		Porcentaje de área total bajo sistemas de protección	PROT
	Ciencia y Tecnología	Número de instituciones que desarrollan ciencia y tecnología	CIENTEC

Indicador Gobierno Ambiental

Los estados gobiernan a través de sus leyes e instituciones. Cuando estas últimas trabajan de forma descentralizada, mediante la aplicación de programas que tienden a la protección y al manejo sostenible de sus recursos, puede existir mayor conciencia y control sobre las actividades que se realizan en el territorio. Las variables propuestas para este objetivo son:

- **Iniciativas de Agenda 21 Local**

La Agenda local 21 es un proceso de planificación internacional de sustentabilidad que provee una oportunidad a los gobiernos locales para trabajar con sus comunidades y crear un futuro sustentable.

La existencia de la Agenda Local 21 en las comunas mide el grado en el cual la sociedad civil está comprometida con un gobierno ambiental.

- **Número Organizaciones Ambientales en la Comuna**

Es una medida de tendencia en la preocupación por los temas ambientales locales, así como de la forma en que se manifiesta la sociedad ante las problemáticas ambientales.

Ante una mayor presencia de organizaciones ambientales en el territorio los actores pueden tomar decisiones más informadas e influir en que se realicen acciones de una manera más sustentable.

- **Porcentaje de Área Total bajo Sistemas de Protección**

Superficie de suelo bajo algún régimen de protección, ya sea público o o privado. La variable está definida como el porcentaje bajo protección respecto del total de la superficie comunal.

Indicador Ciencia y Tecnología

Este indicador intenta medir la capacidad tecnológica y científica a nivel comunal para responder y guiar desafíos ambientales. La variable considerada es:

- **Número de Instituciones que Desarrollan Ciencia y Tecnología**

Instituciones que desarrollan investigación en el área de los recursos naturales, considerando niveles regionales.

APROXIMACIÓN FISIOGRÁFICA PARA GENERACIÓN DE RESULTADOS

Subdivisión Área de Trabajo

Como una forma de agrupar suficiente información a nivel geográfico y administrativo se dividió el área de estudio de acuerdo a la distribución político administrativa actualmente vigente, esto es, se consideran los límites administrativos de cada región desde el Maule a Magallanes.

Maule
Bio Bio
La Araucanía
Los Ríos
Los Lagos
Aysén
Magallanes

Adicionalmente, cada región, con la excepción de las dos últimas, se divide en tres subregiones fisiográficas:

Cordillera de la Costa
Valle Central
Cordillera de los Andes

Como límites para esta asignación, se consideran los límites comunales, lo cual implica asignar a cada comuna su pertenencia en algunas de las tres clases fisiográficas antes descritas.

Asignación de Puntajes a Variables Verificadoras

El puntaje final de cada sistema; Sistema Ambiental, Sistema Stress sobre Ecosistemas y Sistema Capacidad Social e Institucional, se sustenta en el siguiente flujo:

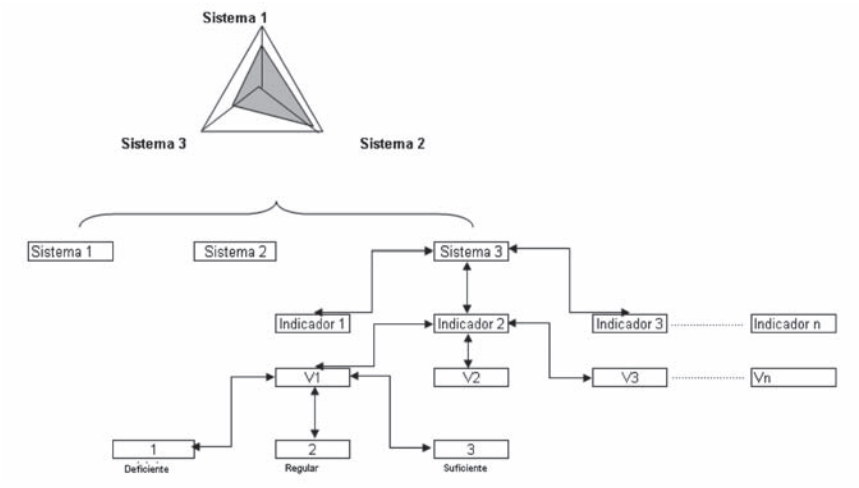


Figura N° 3.
FLUJO DE ESTIMACIÓN DE PUNTAJES PARA ÁREA DE INTERÉS

El flujo de estimación de puntajes por sistema se basa en la calificación del estado de las variables asociadas a cada indicador en tres valores:

1 evaluación deficiente
2 evaluación regular
3 evaluación suficiente

Para cada variable verificadora se estiman estas calificaciones de acuerdo a una pauta de evaluación rescatada de literatura y en su defecto del conocimiento experto.

Posteriormente, se estima por valor medio el valor de puntaje para cada indicador (en Figura N° 3, el valor del indicador 2 se da por la media de las variables V1, V2 y V3), a este nivel, cada indicador tendrá un valor medio propagado desde la base terminando por propagarse a los sistemas, los cuales resultan en valores medios provenientes de los indicadores.

Finalmente, los tres sistemas valorizados, se presentan no en forma agregada, sino separados en un triangulo (Figura N° 3 parte superior) que denota las irregularidades de los sistemas entre si, y por ende aproximando la sustentabilidad.

El triangulo de sustentabilidad, representa una cierta región o zona. En el caso de este reporte describen ocho regiones y tres zonas para cada región según el Cuadro N° 6.

Cuadro N° 6.
ALCANCE GEOGRÁFICO DE LOS RESULTADOS

Subregiones Fisiográficas	Regiones							
	Maule	Bio Bio	Araucanía	Los Ríos	Los Lagos	Aysén	Magallanes	Comparación Fisiográfica
Cordillera de la Costa	X	X	X	X	X	Sin división fisiográfica	Sin división fisiográfica	X
Valle Central	X	X	X	X	X			X
Cordillera de Los Andes	X	X	X	X	X			X
Comparación entre regiones	X	X	X	X	X	X	X	X

De acuerdo con el Cuadro N° 6, cada combinación en la tabla corresponde a un nivel de análisis de sustentabilidad. Esto implica que existirá un triangulo de sustentabilidad para cada uno de estos cruces descritos. En lo que respecta a la población de bosques bajo análisis, en este reporte comprende todos los bosques de las regiones bajo estudio.

ORIGEN DE LA INFORMACIÓN

El origen de la información varía dependiendo del sistema en observación.

Los sistemas de *Stress* sobre Ecosistemas y Capacidad Social e Institucional utilizan fuentes indirectas para la evaluación de las variables, entre ellas se pueden mencionar el Catastro Nacional de las Formaciones Vegetacionales de Chile" (CONAF-CONAMA, 1997), el Censo de Población publicado por el Instituto Nacional de Estadística, y la Cartografía Temática de las zonas en estudio (INFOR, 2009 - 2010).

En el caso del sistema ambiental los datos e información que constituyeron las variables verificadoras provienen del Inventario Continuo de Ecosistemas Forestales Nativos, el cual se enmarca en el Programa de Monitoreo de Sustentabilidad de los Ecosistemas Forestales Nativos ambos desarrollados por el Instituto Forestal, Sede Valdivia.

En el año 1999 el Instituto Forestal propuso a CORFO FDI, y le fue adjudicado el proyecto Nueva Capacidad para la Configuración de un Sistema Único de Información Forestal, el cual consideró el problema de la generación de información para el sector forestal chileno, bajo una perspectiva de eficiencia metodológica y tecnológica, para el apoyo a la toma de decisiones respecto del sector forestal. Producto de esto, se genera un modelo integrado de datos que permite tratar toda la información de existencias en volumen y superficies de todas las formaciones nativas y exóticas del país, el cual es manejado en forma estándar y única por un sistema que evita dobles cifras oficiales, contradicciones en las cifras y aumenta la eficiencia en el logro y publicación de resultados.

Adicionalmente, se genera un conjunto de pruebas piloto relacionadas con el rescate de información desde terreno para las formaciones nativas, por la vía de la aplicación del concepto de Inventario Continuo de los Recursos, lo cual permite describir las grandes tendencias del sector, dar cuenta de las mejores opciones productivas del recurso según su contexto local y geográfico, y establecer políticas de mediano y largo plazo basadas en antecedentes cuantitativos objetivos y estadísticamente sólidos y confiables, para ello el proyecto aplicó un esquema muestral en forma piloto en la Región de La Araucanía.

Como resultado de este proyecto, se formalizó operacionalmente el actual diseño[3] del Inventario Continuo de los recursos comprendidos en los ecosistemas nativos de las regiones de La Araucanía a Los Lagos, así como también se formalizó su natural y necesaria conexión e interrelación complementaria con el proyecto Catastro de CONAF y CONAMA, el cual da cuenta de la dinámica en superficies de las clases de uso del suelo y sus tipos forestales mientras que, el Inventario Continuo provee una dimensión cuantitativa a estas superficies, dando cuenta del estado y condición de las existencias de recursos y factores ambientales allí asociados, complementándose en una poderosa herramienta de generación y producción de información.

El Inventario Continuo de los ecosistemas forestales, comprende la aplicación de metodologías de sensores remotos, modelos digitales de terreno, cartografía del Catastro CONAF-CONAMA e información auxiliar, en un esquema de inventario multifuente (utiliza todo tipo de información existente para apoyar sus estimaciones), de múltiples niveles (ejecuta mediciones en toda la gama de tamaños desde la regeneración a adultos, organizados en un diseño de parcelas anidadas), y multirecursos (da respuestas a varios tipos de recursos, además de los individuos arbóreos considera suelo, desechos, fauna, y bioindicadores), y de carácter continuo, a fin de obtener una adecuada caracterización de los recursos contenidos en los ecosistemas forestales nativos permitiendo su posterior monitoreo en el marco de las crecientes y permanentes demandas de información nacional e internacional.

Así, procesos como el de Montreal, la Convención de la Diversidad Biológica (CBD), la Convención Marco de Cambio Climático (UNFCCC), el Foro de los bosques de las Naciones Unidas (UNFF) (que acopia las propuestas de acción hacia el desarrollo sustentable del Panel Intergubernamental de Bosques IPF), y el Foro Intergubernamental de Bosques (IFF), entre otros, encuentran en el desarrollo tecnológico-metodológico generado respuestas oportunas a sus demandas y base de decisiones para el futuro.

3 El diseño del Inventario Continuo para los recursos comprendidos en los ecosistemas nativos es el resultado de la cooperación técnica INFOR, *Forest Service de British Columbia Canada*, el Instituto de Investigación Forestal de Finlandia (METLA) y la Universidad de Helsinki, Finlandia, entre los años 1995-1999. Posteriormente el diseño recibió adicionalmente el apoyo del *Forest Inventory & Analisis* (FIA) del *Forest Service* USDA, la *Office of Research & Development de la Environmental Protection Agency* (EPA) y las organizaciones asociadas al *Consortium for Advancing the Monitoring of Ecosystem Sustainability in the Americas* (CAMESA) soporte técnico en el periodo 2000 a la fecha.

Los resultados de este proyecto involucran aspectos de diversa índole; temas como existencias, crecimiento, mortalidad y desechos leñosos, superficies, biodiversidad, componentes ambientales, uso del suelo, vida silvestre, aspectos sanitarios, bienes y servicios del bosque (como paisaje, acumulación de carbono, posibilidades productivas actuales y futuras), constituyen tópicos que se enfrentan a diversos niveles de precisión.

Mediciones Asociadas a los Ecosistemas Forestales Nativos

Como una forma de simplificar los ecosistemas se ha recurrido a modelarlos de acuerdo a ciertas características que les son más relevantes, éstos representan en forma objetiva los componentes ambientales principales; vegetación, suelos, agua y vida silvestre. Para ello se recurre a la definición de un conjunto de más de 90 variables clasificadas en:

Variables del entorno
Variables de parcela
Variables de árboles
Variables del suelo
Variables de regeneración y vegetación
Variables de mortalidad y desechos leñosos
Muestreo de líquenes.

Diseño Muestral

El Inventario Forestal Continuo emplea un diseño muestral bi-etápico, en conglomerados distribuidos en forma sistemática en malla triangular. La unidad muestral corresponde a un conglomerado de tres parcelas circulares concéntricas de radio fijo y de área equivalente. La malla sistemática es irregular en el sentido de los ejes Norte-Sur (7 km) y Este-Oeste (5 km), y cada punto de intersección o vértice del triángulo corresponde a una unidad muestral.

Este diseño de muestreo se muestra en detalle en la Figura N° 4.

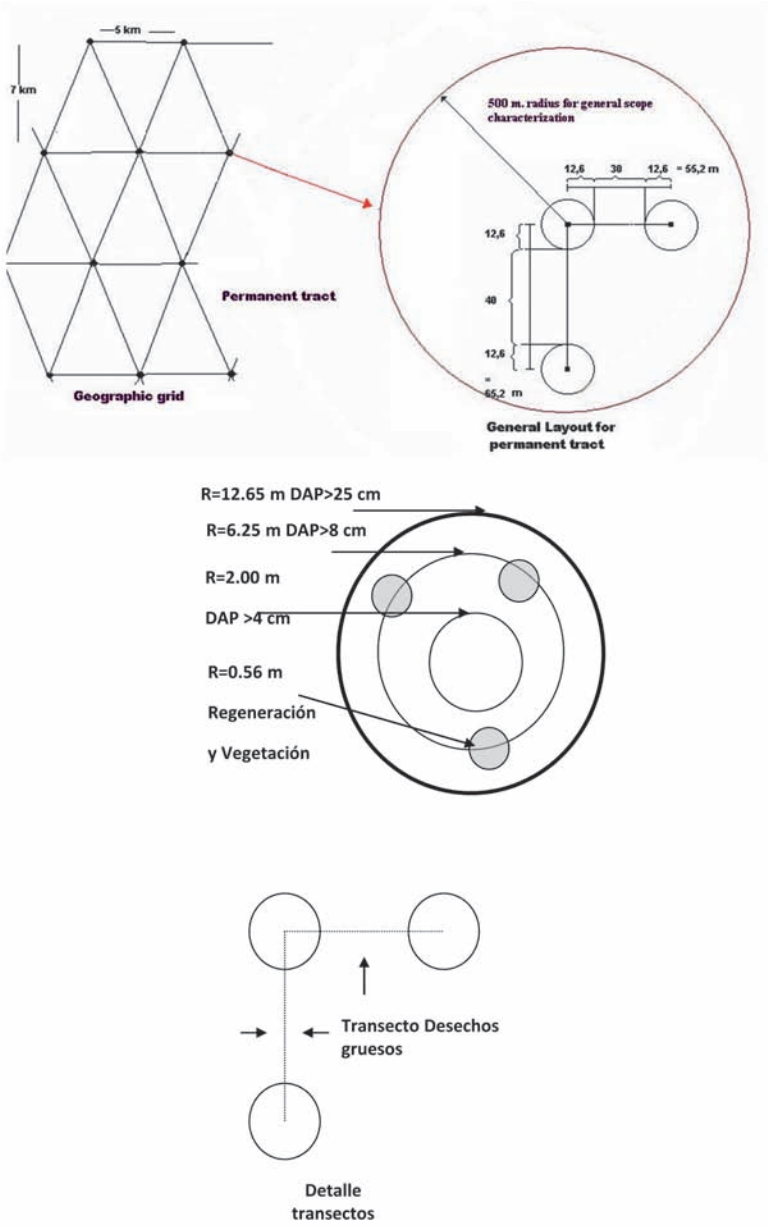


Figura 4.
DETALLE DE PARCELAS DE INVENTARIO

Resultados

Resultados

RESULTADOS

Los resultados obtenidos por sistema, unidades administrativas y unidades fisiográficas, se presentan en forma gráfica para obtener una rápida síntesis del balance entre los sistemas en el ámbito de comparación.

Los sistemas se evalúan de acuerdo a una escala de tres niveles, como se explica en capítulos anteriores, calificados como 1: Deficiente, 2: Regular y 3: Suficiente.

Como se evalúan en forma de agregación por promedios, los ejes de cada sistema suelen aparecer como valores decimales, reflejando de esta forma, la tendencia del sistema hacia niveles más pobres o más elevados.

RESULTADOS GENERALES

En el Cuadro N° 7 se entregan los resultados generales por sistema, región y subregión (excepto Aysén y Magallanes) y los agregados por sistema y subregión o unidad fisiográfica.

Cuadro N° 7.
RESULTADOS GENERALES POR SISTEMA, REGIÓN Y SUBREGIÓN
(EXCEPTO AYSÉN Y MAGALLANES SÓLO SISTEMA Y REGIÓN)

Sistema	Subregión Bloque	Maule	Bio Bio	Araucanía	Los Ríos	Los Lagos	Evaluación Unidad Fisiográfica	Aysén	Magallanes
Ambiental	Cordillera de Los Andes	1,21	1,19	1,90	2,29	2,19	1,76	1,58	1,50
	Cordillera de la Costa	1,13	1,00	1,02	1,86	1,85	1,37		
	Valle Central	1,25	1,00	1,24	1,88	1,74	1,42		
	Evaluación por Unidad/Región	1,20	1,06	1,39	2,01	1,93	1,52	1,58	1,50
Stress sobre Ecosistemas	Cordillera de Los Andes	1,33	1,67	2,00	2,33	2,67	2,00	3,00	3,00
	Cordillera de la Costa	1,00	1,33	1,33	2,67	2,33	1,73		
	Valle Central	1,67	1,67	1,67	1,67	2,33	1,80		
	Evaluación por Unidad/Región	1,33	1,56	1,67	2,22	2,44	1,84	3,00	3,00
Capacidad Social e Institucional	Cordillera de Los Andes	1,17	1,17	1,67	1,67	1,33	1,40	2,50	2,50
	Cordillera de la Costa	1,17	2,17	1,50	1,67	1,00	1,50		
	Valle Central	2,17	2,17	2,00	2,33	2,00	2,13		
	Evaluación Unidad/Región	1,50	1,83	1,72	1,89	1,44	1,68	2,50	2,50

SÍNTESIS GRÁFICA

A continuación se muestra una síntesis gráfica organizada de mayor grado de agregación a más detalle. Se asume aquí, de acuerdo a la graduación de la calificación, que a mayor valor mejor desempeño de los ecosistemas en relación a su sustentabilidad.

Así, si el triangulo es asimétrico en aquellos vértices mas bajos se asume una situación desfavorable para ese sistema.

Otro aspecto a considerar es la magnitud del valor asociado al sistema en específico, si bien el triángulo de los tres sistemas puede resultar simétrico, su orden de magnitud puede ser baja para los tres sistemas, esto se asume también como, desfavorable.

En la Figura N° 5 se describe gráficamente estas opciones.

Figura N° 5.
INTERPRETACIÓN DE SÍNTESIS GRÁFICA DE RESULTADOS POR SISTEMA

En la figura la porción gris indica el balance entre los tres sistemas, el cual en este caso es considerado como deficiente en el Sistema 3, así, la evaluación de la región de este caso hipotético indicaría pobre o regular desempeño del Sistema 3.

En las figuras siguientes se muestran los resultados según los índices de sustentabilidad ambiental en forma gráfica, desde los niveles regionales hasta aquellos de menor agregación.

Síntesis Gráfica por Regiones

Cuando se comparan las síntesis de las siete regiones (Figura N° 6) se observa que la sustentabilidad ambiental decrece desde las regiones más australes hacia el norte. Claramente la región de Los Ríos es la que demuestra mejor evaluación, denotando un balance entre los tres sistemas, aunque su desempeño se encuentra en el rango de 2, lo que indica la evaluación de sustentabilidad de los ecosistemas forestales nativos como regular.

La sustentabilidad en la región del Maule está en el rango de deficiente, mientras que las regiones de Aysén y Magallanes califican en el rango de regular a suficiente, donde el sistema stress ambiental es uno de los preponderantes en ambas regiones.

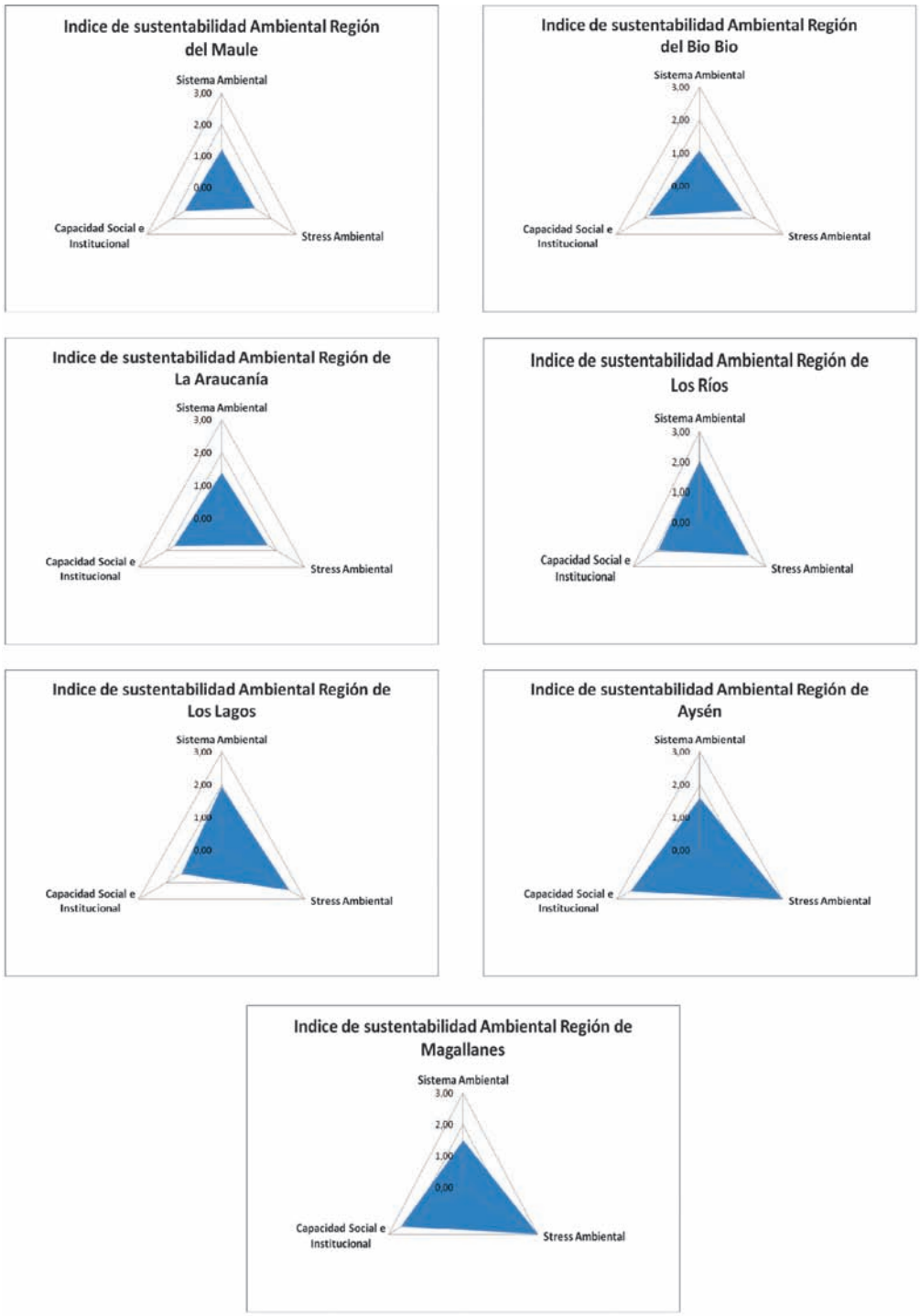


Figura N° 6.
ÍNDICES DE SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL POR REGIÓN

Síntesis Gráfica por Regiones y Zonas Fisiográficas

Con el objeto de aproximar las posibles causas de los resultados en cada región, se recurre a la síntesis descriptiva por unidad fisiográfica dentro de cada una (Figuras N° 7 a N° 13).

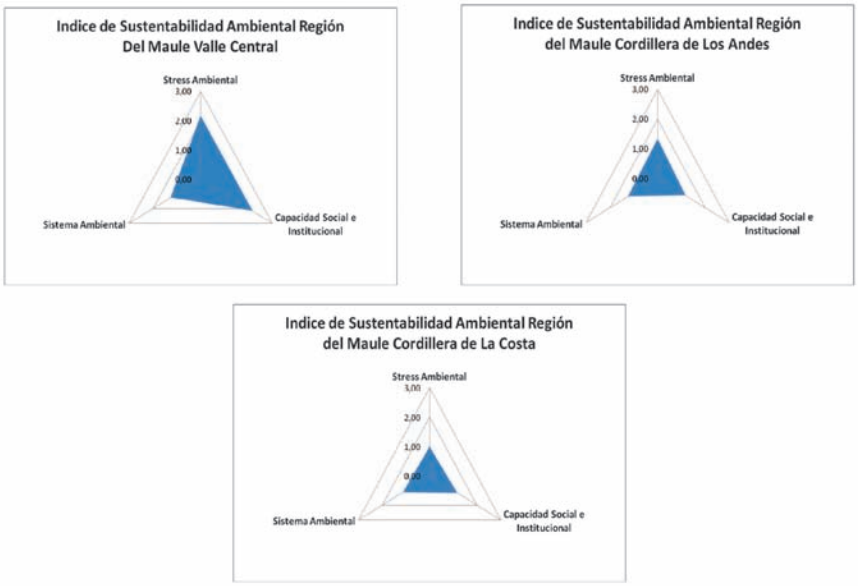


Figura N° 7.
ÍNDICE DE SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL EN REGIÓN DEL MAULE POR UNIDAD FISIOGRÁFICA

El desempeño de la sustentabilidad de la Región del Maule está dominado por los bajos índices asociados a la Cordillera de la Costa y la Cordillera de los Andes. Sin embargo, el leve repunte del Sistema Capacidad Social e Institucional refleja una posible tendencia de respuesta de parte de la sociedad de la región.

Para el caso de la región del Bio Bio (Figura N° 8), desde la perspectiva de las unidades fisiográficas, las tendencias de la sustentabilidad ambiental son similares al caso de la región del Maule. El aspecto dominante en esta región corresponde al Sistema Ambiental el cual se desempeña pobremente en las tres unidades fisiográficas. También el Sistema Stress Ambiental tiene fuerte influencia en el sector Cordillera de la Costa, no obstante lo anterior, en esta región existe una potente capacidad de respuesta.

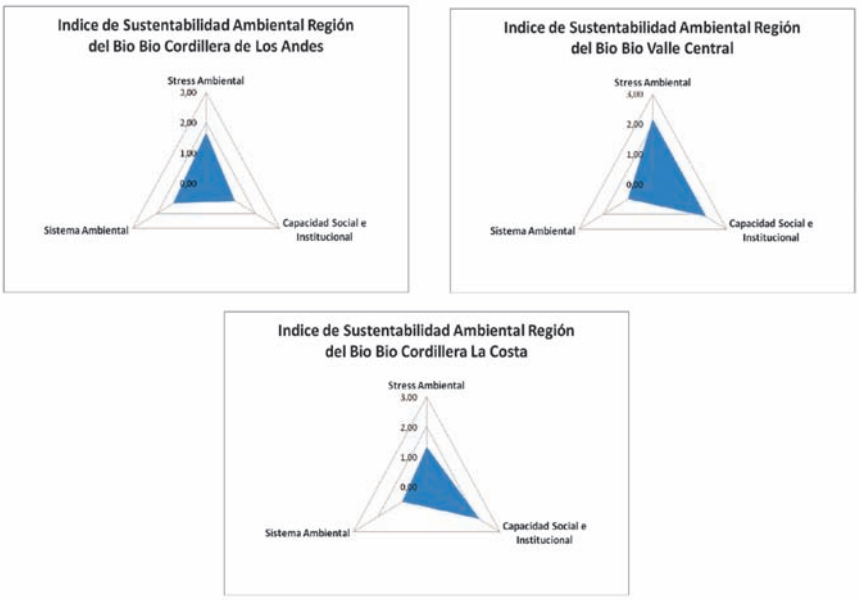


Figura N° 8
ÍNDICE DE SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL EN REGIÓN DEL BIO BIO POR UNIDAD FISIOGRÁFICA

En la región de La Araucanía en tanto (Figura N° 9), el desempeño está en el rango de regular a deficiente, debido principalmente a la evaluación obtenida en el Sistema Ambiental en la Cordillera de la Costa y en el Valle Central. En las comunas asociadas a la Cordillera de los Andes, el desempeño es regular principalmente debido a las fuerzas de stress sobre el recurso observadas en esa zona

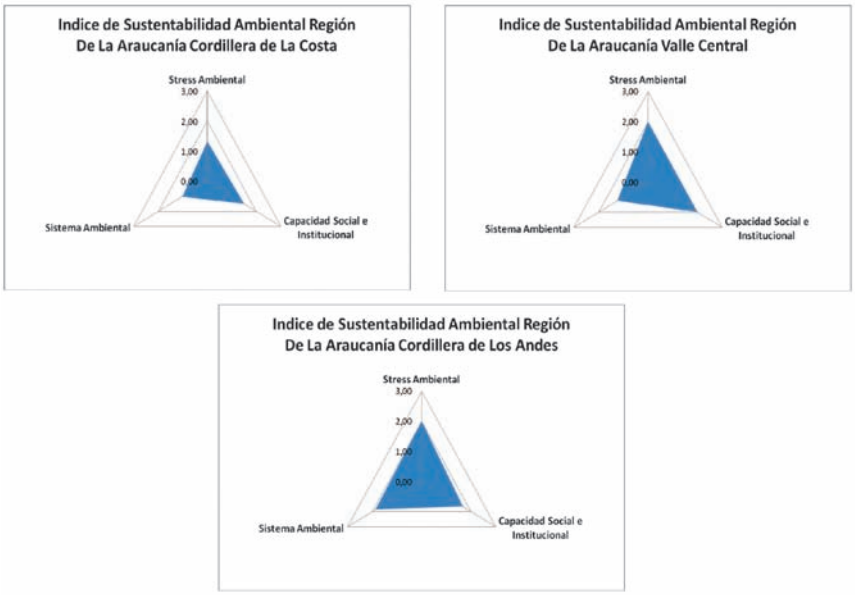


Figura N° 9.
ÍNDICE DE SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL EN REGIÓN DE LA ARAUCANÍA POR UNIDAD FISIOGRÁFICA

En el caso de la región de Los Ríos (Figura N° 10), claramente el Valle Central y la Cordillera de la Costa representan la mayor preponderancia de rangos en la evaluación, en particular se destaca el rango de deficiente con tendencia a regular para el Valle Central en los tres sistemas. En la región de los Ríos en la Cordillera de los Andes la evaluación se mantiene en regular y los datos muestran la presencia de una buena Capacidad Social e Institucional.

Figura N° 10
ÍNDICE DE SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL EN REGIÓN DE LOS RÍOS POR UNIDAD FISIOGRÁFICA

Para el caso de la región de los Lagos (Figura N° 11), la situación entre unidades fisiográficas es irregular, la Cordillera de la Costa y la Cordillera de los Andes son las que presentan mayores deficiencias, no obstante mantenerse en el rango de regular en los Sistemas Ambientales y Capacidad Social e Institucional.

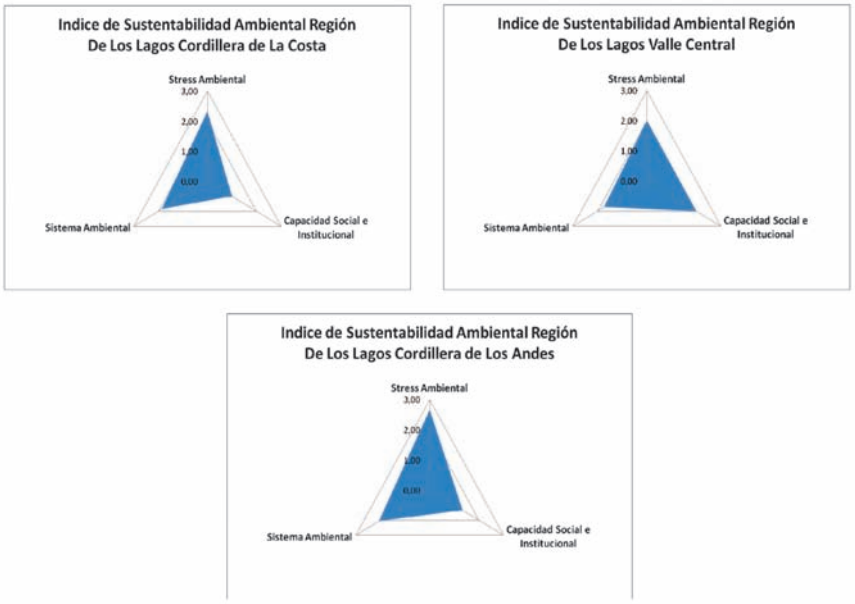


Figura N° 11
ÍNDICE DE SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL EN REGIÓN DE LOS LAGOS POR UNIDAD FISIOGRÁFICA

Síntesis Gráfica según Indicadores

Tal como se describió en la sección dedicada a los sistemas en particular, en el Cuadro N° 8 se resumen todos los sistemas, sus indicadores y sus variables verificadoras.

Cuadro N° 8
Sistemas, Indicadores y Variables Asociadas al Análisis

Sistema	Indicador	Variable	Código
Ambiental	Diversidad de paisaje	Tamaño medio del parche ponderado por el área	AWMPS
		Densidad de parches	PD
		Dimensión fractal media del parche	MPDF
		Índice de Diversidad de Shannon	SHDI
	Diversidad bosque-rodal	Residuos gruesos	RG
		Índice de Shannon de especies	SHSP
		Índice de Shannon tamaño de árboles muertos	SHMU
		Diámetros de árboles muertos en pié	DAPM
		Cobertura de copas sobre el suelo	COBS
Stress Ambiental	Stress sobre ecosistemas	Porcentaje comunal ocupado por plantaciones exóticas	PLANT
	Presión poblacional	Ruralidad	RURA
	Stress en sistemas hídricos	Existencia de Zona de Manejo de Cauces	ZMC
Capacidad Social e Institucional	Gobierno ambiental	Iniciativas de Agenda 21 local	AG21
		Número organizaciones ambientales en la comuna	NOAMB
		Porcentaje de área total bajo sistemas de protección	PROT
	Ciencia y tecnología	Número instituciones que desarrollan ciencia y tecnología	CIENTEC

(3 Sistemas, 7 Indicadores y 16 variables)

Analizados los sistemas por su importancia, dada la fuente de datos, cuyo origen es directamente generado de observación/medición/registro de terreno, y por su implicancia en la sustentabilidad de los ecosistemas forestales nativos, se detalla a continuación el comportamiento de cada indicador asociado a los sistemas a cada uno de los sistemas (Figuras N° 12 a N° 18).

- **Sistema Ambiental. Indicador Diversidad de Paisaje**

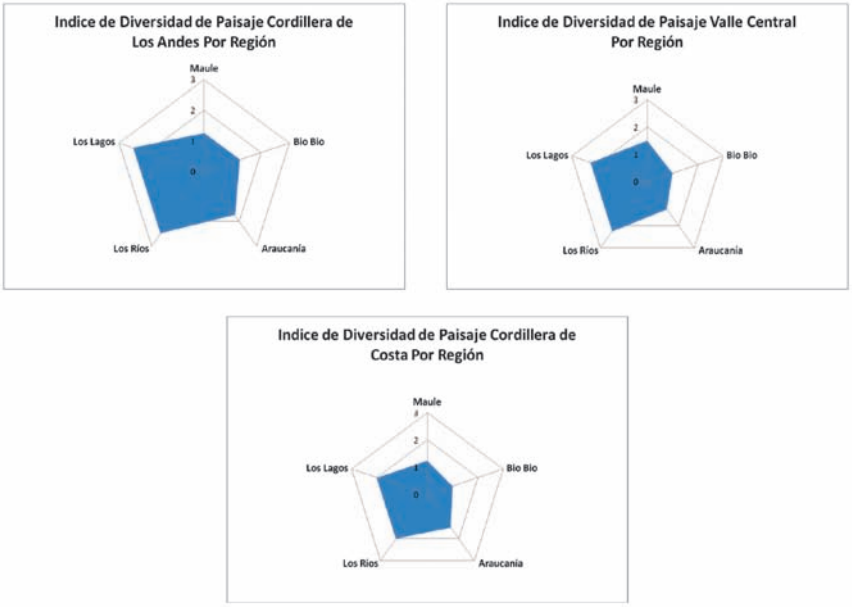


Figura N° 12
DESEMPEÑO DEL INDICADOR DIVERSIDAD DE PAISAJE

Respecto de la diversidad de paisaje, las regiones más pobres en este indicador corresponden Maule, Bio Bio y La Araucanía, describiendo los patrones de fragmentación y problemas de conectividad de las formaciones forestales, aunque esta última característica cuenta con el elemento regulador constituido por las plantaciones forestales.

- **Sistema Ambiental. Indicador Diversidad de Bosque/Rodal**

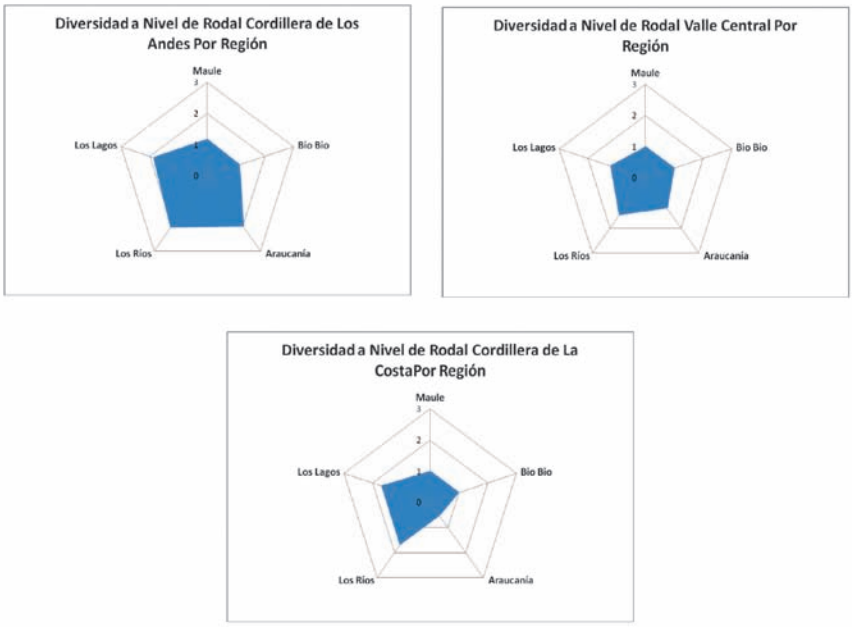


Figura N° 13
DESEMPEÑO DEL INDICADOR DIVERSIDAD DE BOSQUE-RODAL

El estado de la diversidad a nivel de bosque/rodal implica aspectos principalmente estructurales, de composición y función de los rodales de acuerdo a su estado de desarrollo. El desempeño de este indicador refleja un deficiente estado de los rodales internamente, lo que puede asumirse como un *proxy* de degradación de los bosques naturales en las diversas zonas. La Cordillera de la Costa y el Valle Central muestran un desempeño deficiente y, una vez más, las regiones más desfavorecidas corresponden a Maule, Bio Bio y La Araucanía.

- **Sistema Stress Ambiental. Indicador Stress Sobre Ecosistemas**

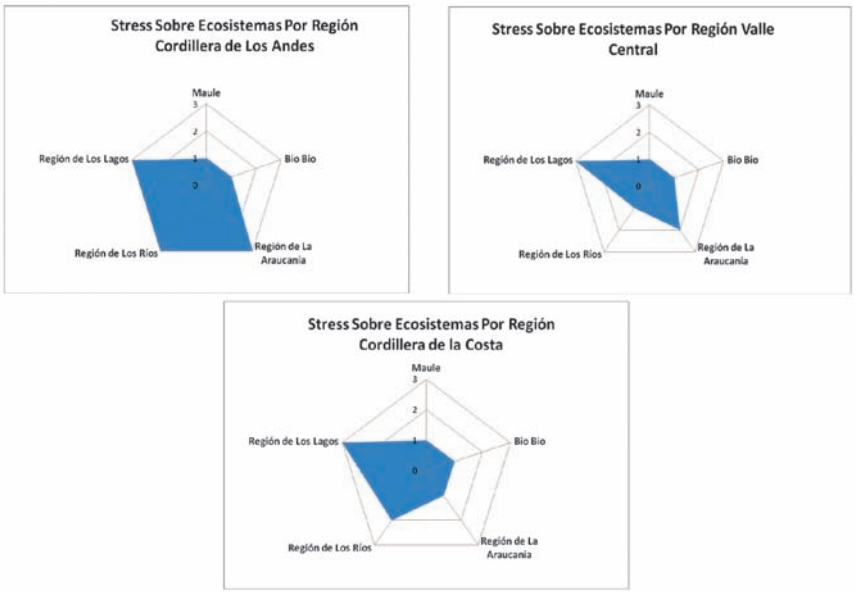


Figura N° 14
DESEMPEÑO DEL INDICADOR *STRESS* SOBRE ECOSISTEMAS

Este indicador está gobernado principalmente por la presencia de plantaciones forestales, las que son vistas como posibles fuerzas de presión sobre los ecosistemas, esto se ve reflejado claramente en las regiones que contabilizan más superficie de estos ecosistemas artificiales en términos relativos.

- **Sistema Stress Ambiental. Indicador Presión Poblacional**

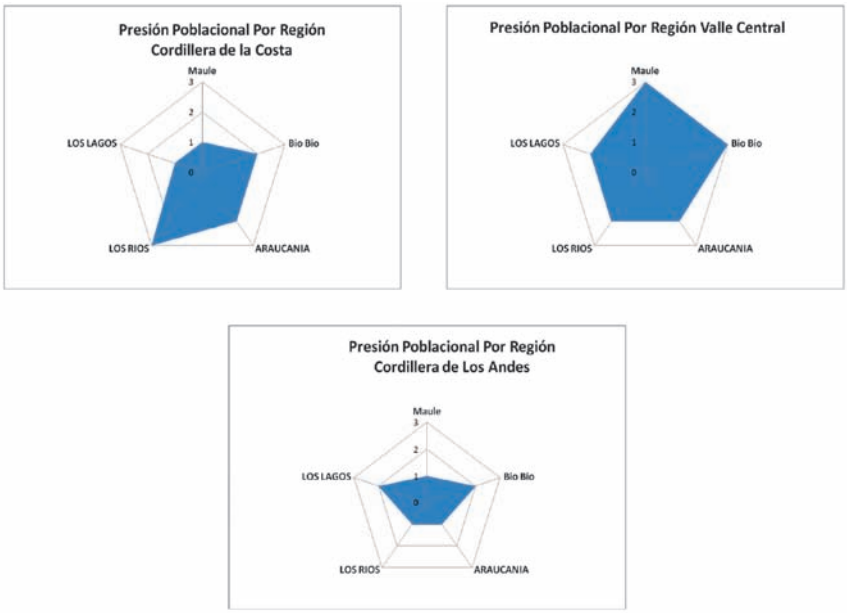


Figura N° 15
DESEMPEÑO DEL INDICADOR PRESIÓN POBLACIONAL

Las más altas presiones ejercidas por población rural se dan en la región de Los Ríos, en áreas de la Cordillera de la Costa, y en las regiones de Maule y Bio Bio en sectores del Valle Central.

- **Sistema *Stress* Ambiental. Indicador *Stress* en Sistemas Hídricos**

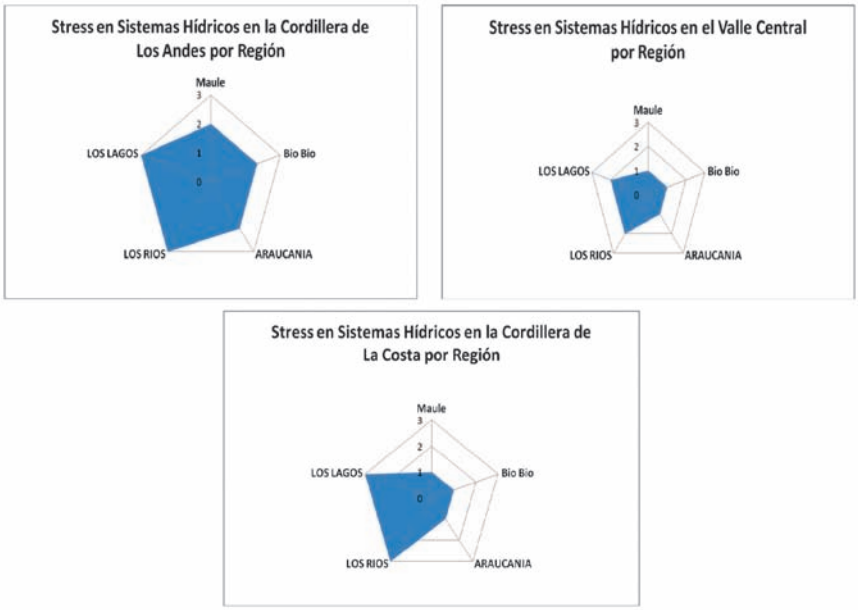


Figura N° 16
DESEMPEÑO DEL INDICADOR STRESS EN SISTEMAS HÍDRICOS

Al igual que los indicadores anteriores, las regiones mas bajas en su desempeño de *stress* hídrico, debido a poca frecuencia de proteccion de riberas de curso de aguas, corresponden a las regiones del Maule, Bio Bio y Araucania, con enfasis en la Cordillera de la Costa y Valle Central.

- **Sistema Capacidad Social e Institucional. Indicador Gobierno Ambiental**

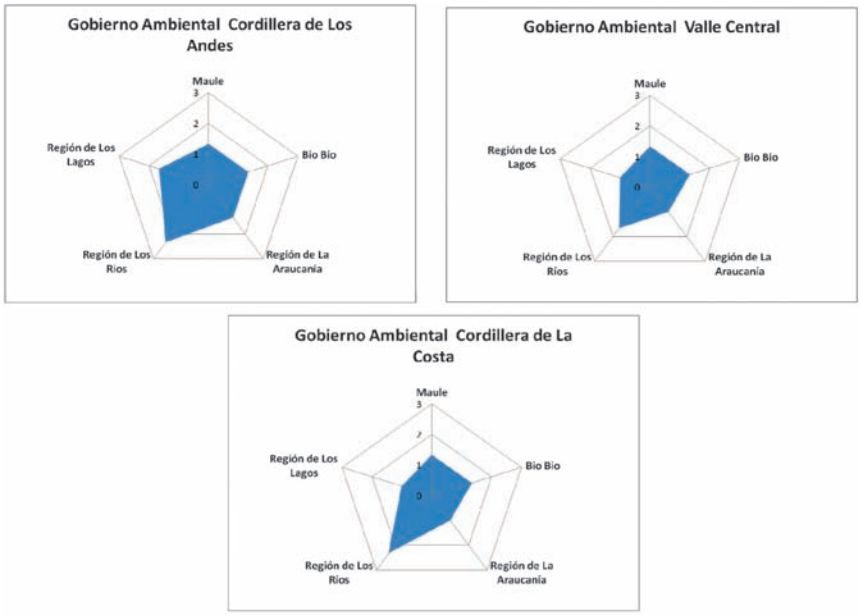


Figura N° 17
DESEMPEÑO DEL INDICADOR GOBIERNO AMBIENTAL

En el contexto del indicador de gobierno ambiental, existe una marcada dominancia de la región de los Ríos por sobre las otras regiones con presencia en todas las unidades fisiográficas.

- **Sistema Capacidad Social e Institucional. Indicador Ciencia y Tecnología**

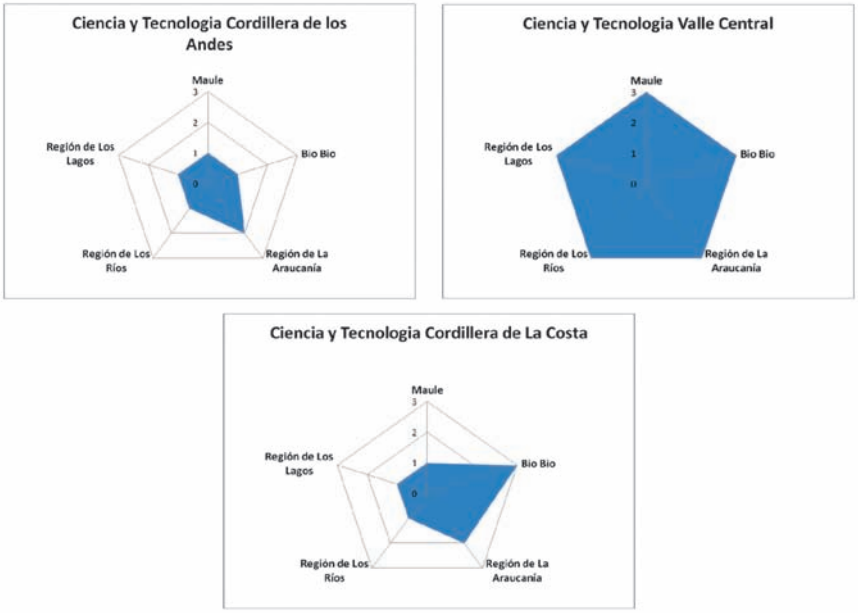


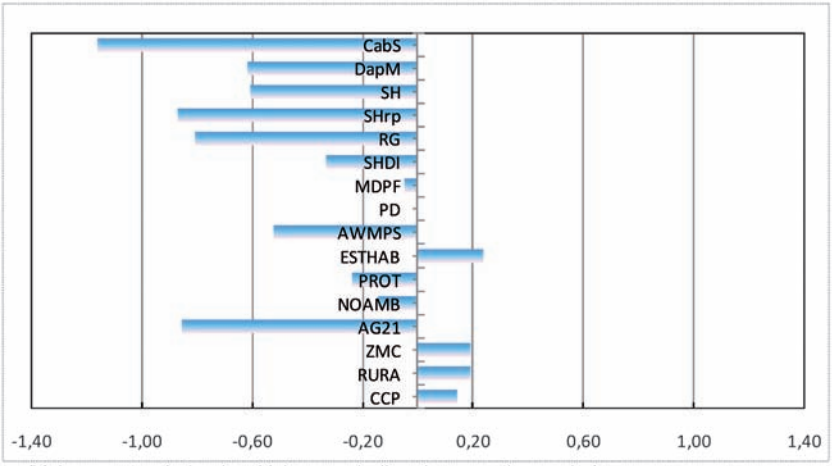
Figura N° 18
DESEMPEÑO DEL INDICADOR CIENCIA Y TECNOLOGÍA

La predominancia de la región del Bio Bio en este indicador es notoria, en especial en la Cordillera de la Costa y el Valle Central, mientras que la región de la Araucanía muestra la misma condición en la Cordillera de los Andes.

Síntesis Gráfica según Variables Verificadoras

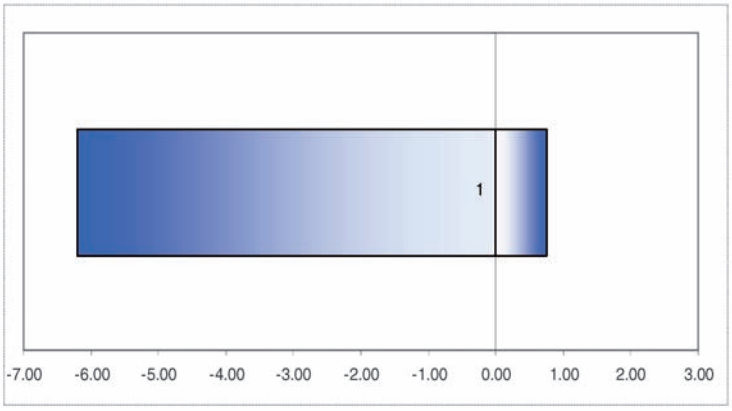
Para realizar un escrutinio de las variables verificadoras utilizadas en este reporte y su influencia en los diversos sistemas, se presenta el comportamiento de estas variables en forma gráfica.

- **Desempeño General**



(Valores estandarizados. Valor cero indica desempeño regular)

Figura N°19
DESEMPEÑO GENERAL DE LAS VARIABLES VERIFICADORAS



(Valor cero indica desempeño Regular)

Figura N° 20
TENDENCIA GENERAL DE LAS VARIABLES VERIFICADORAS

En términos generales, el desempeño ambiental tiene clara tendencia a regular a deficiente en la gran mayoría de las variables utilizadas. Las Figuras N° 19 y N° 20 representan estas tendencias de las variables verificadoras en forma sintética, como la suma de los valores negativos, a la izquierda, y la suma de los valores positivos, a la derecha. El siguiente análisis detallado de las variables verificadoras a nivel regional y por zona fisiográfica permite identificar las áreas geográficas más relevantes que dan origen al desempeño que indican estas figuras.

- **Variables Verificadoras según Regiones**

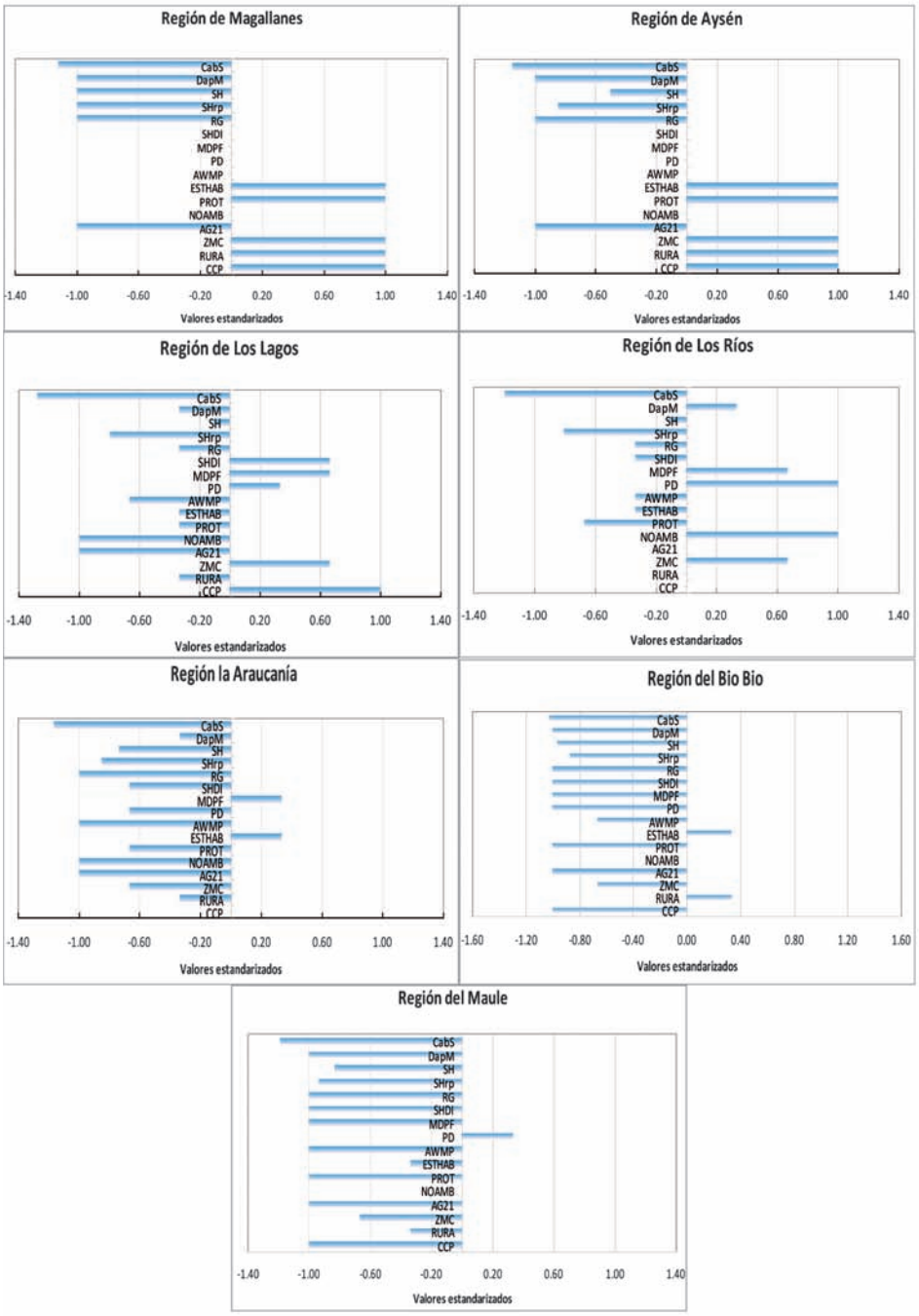


Figura N° 21
DESEMPEÑO DE LAS VARIABLES VERIFICADORAS SEGÚN REGIÓN

El mal desempeño de las regiones del Maule, Bio Bio, y La Araucanía queda explicado por la tendencia de la mayoría de las variables, que es de regular a deficiente. Es importante notar que tanto las variables de Diversidad de Paisaje y de Diversidad de Bosque-Rodal, del Sistema Ambiental, y aquellas de los otros dos sistemas muestran tendencias negativas en conjunto, lo que indicaría ausencia de acciones mitigantes en las regiones, este desequilibrio es preocupante para las regiones en el contexto de la sustentabilidad de sus bosques nativos.

Las regiones de los Ríos, de los Lagos, Aysén y Magallanes se caracterizan por un comportamiento con tendencia a regular en las variables verificadoras. El desempeño de estas regiones se encuentra razonablemente equilibrado y presentan tendencias balanceadas tanto a escala paisaje como a escala bosque/rodal.

- **Variables Verificadoras según Regiones y Zonas Fisiográficas**

Las Figuras N° 22 a N° 26 a continuación describen gráficamente el comportamiento de las variables verificadoras en cada región y zona fisiográfica.

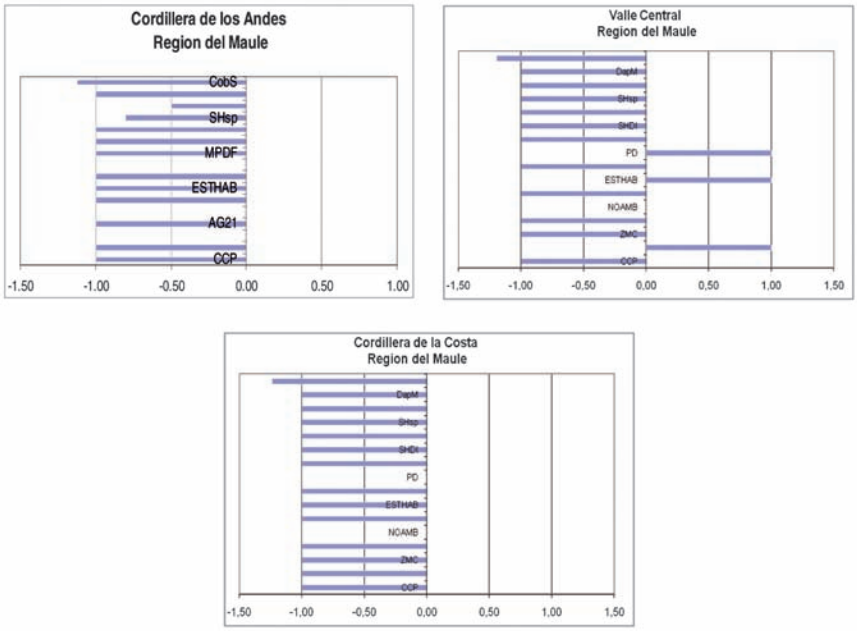


Figura N° 22
DESEMPEÑO VARIABLES VERIFICADORAS REGIÓN DEL MAULE

La situación de la región del Maule en el contexto de cada variable verificadora, independiente del sistema, es de regular a deficiente, dadas las tendencias de las variables.

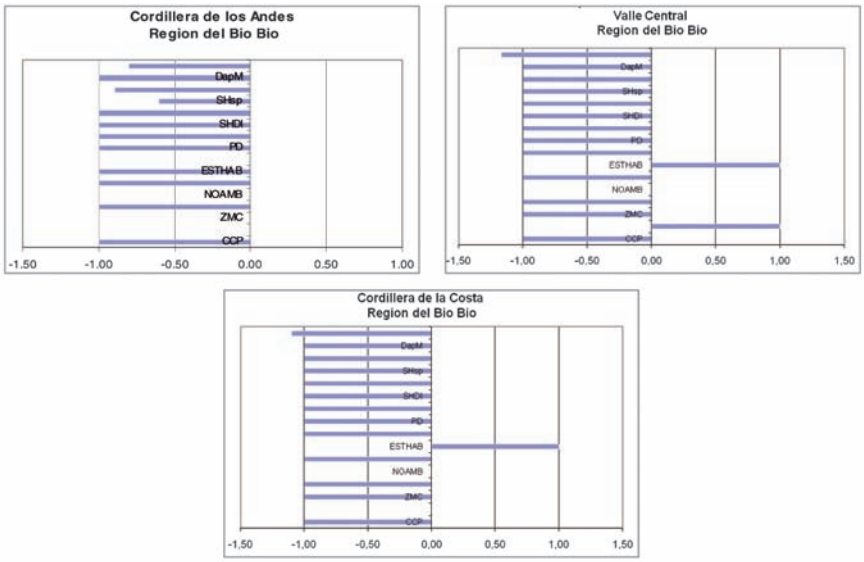


Figura N° 23
DESEMPEÑO VARIABLES VERIFICADORAS REGIÓN DEL BIO BIO

En el caso de la región del Bio Bio, al igual que la región del Maule es de Regular a Deficiente, con predominancia de deficiente en el caso de la Cordillera de los Andes y de la Costa.

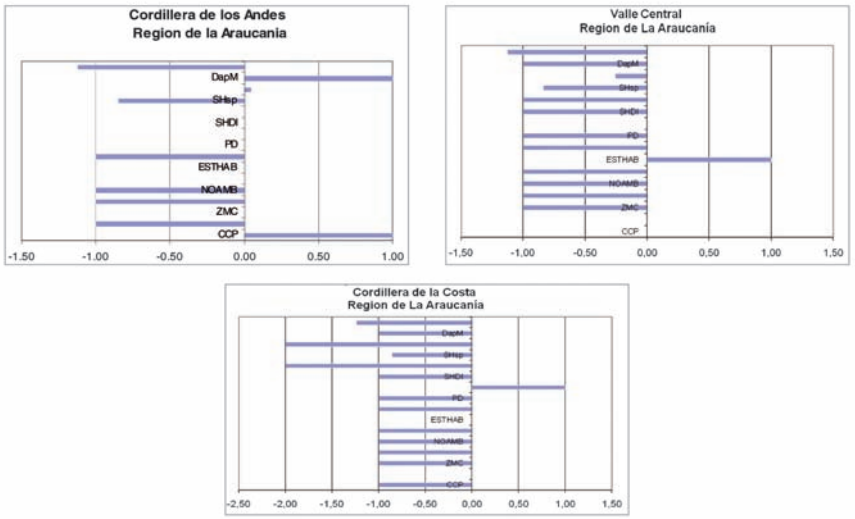


Figura N° 24
DESEMPEÑO VARIABLES VERIFICADORAS REGIÓN DE LA ARAUCANÍA

En el caso de la región de la Araucanía las tendencias a deficiente están marcadas principalmente en el Valle Central y la Cordillera de la Costa.

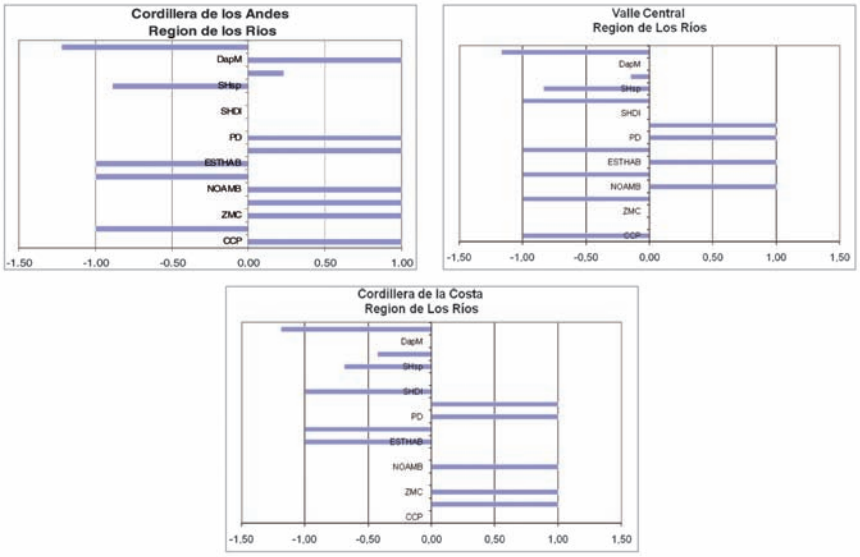


Figura N° 25
DESEMPEÑO VARIABLES VERIFICADORAS REGIÓN DE LOS RIOS

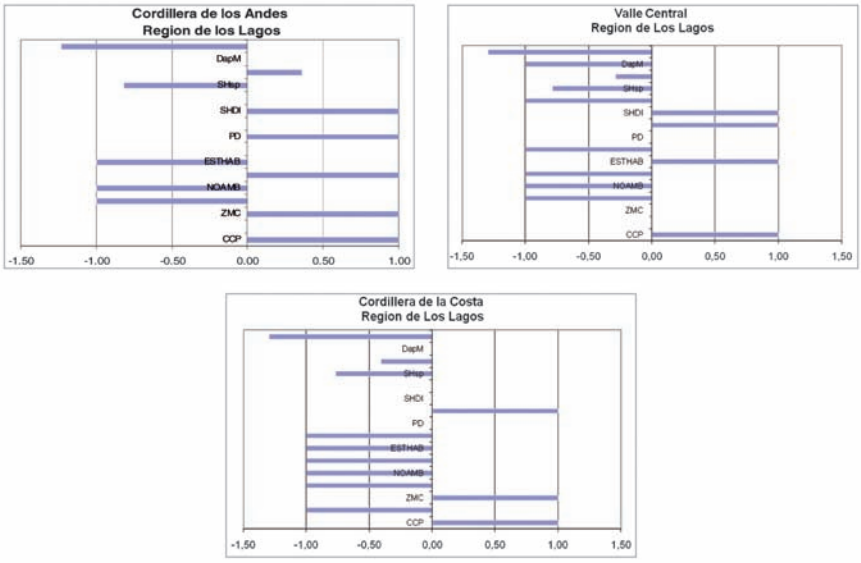


Figura N° 26
DESEMPEÑO VARIABLES VERIFICADORAS REGIÓN DE LOS LAGOS

La región de Los Rios se comporta en el rango de regular en la Cordillera de los Andes y regular a ligeramente deficiente en la Cordillera de la Costa y Valle Central.

Por último, en el caso de la región de Los Lagos las tendencias de las variables verificadoras se manifiestan en el rango de regular y regular a deficiente en el caso de la Cordillera de la Costa.

ANÁLISIS DE TENDENCIAS

Tendencias de Sustentabilidad por Región

Con el fin de identificar posibles tendencias de la sustentabilidad, se estandarizan los datos de las variables verificadoras sobre el valor regular, quedando el valor cero como representando a la Sustentabilidad Regular. Las Figuras N° 27 a N° 30 describen estas tendencias por región y zona fisiográfica.

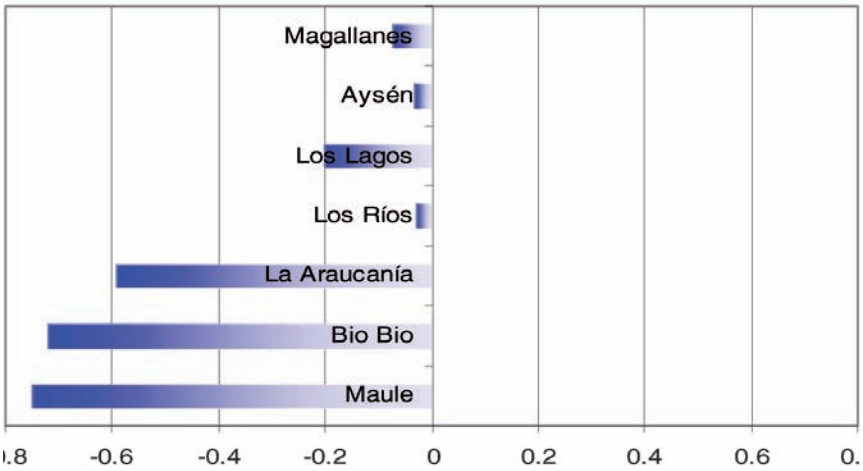


Figura N° 27
TENDENCIAS DE LA SUSTENTABILIDAD POR REGIÓN

De la figura se destaca que las regiones del Maule, Bio Bio y La Araucanía presentan una condición de deficiente (-1), mientras que las mejores regiones en estos términos corresponden a Los Ríos y Aysen con valores muy cercanos a Regular (0), para terminar con tendencias a regular en las regiones de Los Lagos y Magallanes.

Tendencias de Sustentabilidad por Región y Zona Fisiográfica

Respecto de las zonas fisiográficas, en la Cordillera de la Costa la sustentabilidad se caracteriza por ser deficiente, en especial en las regiones del Maule, Bio Bio y La Araucanía, mientras que en los Lagos y los Ríos la tendencia es Regular en especial en los Ríos.

El Valle Central en tanto, exhibe tendencias de sustentabilidad similares para las regiones del Maule a Bio Bio, es decir, tienden a deficiente, Sin embargo, las regiones de Los Ríos y Los Lagos muestran una tendencia hacia suficiente, en especial la región de Los Ríos.

En el caso de la Cordillera de los Andes, en forma similar a los casos anteriores, las mejores regiones con tendencias hacia suficiente corresponden a Los Lagos y Los Ríos.

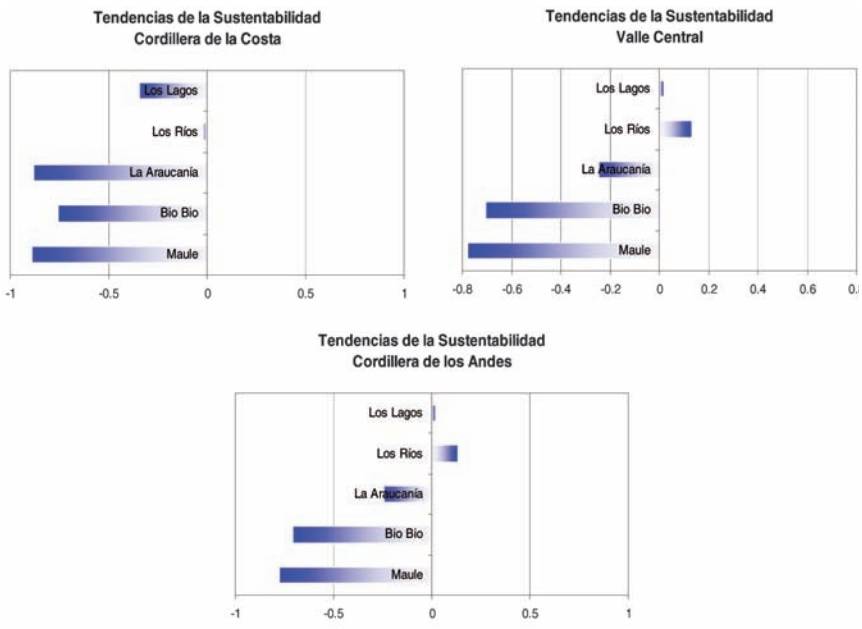


Figura N° 28
TENDENCIAS DE LA SUSTENTABILIDAD POR REGIÓN Y ZONA FOSIOGRÁFICA

Discusión

Discusión de los resultados

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Este reporte constituye un instrumento de apoyo a la toma de decisiones respecto de la sustentabilidad de los ecosistemas forestales del país. Es el primer estudio que aproxima una evaluación objetiva de la sustentabilidad de los ecosistemas forestales nativos de las regiones del Maule, Bio Bio, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos, Aysén y Magallanes.

La evaluación se basa en datos provistos y recolectados a través del Inventario Continuo de los Recursos Forestales llevado a cabo en INFOR desde el año 2001, dentro del marco del Programa de Inventario de Recursos Forestales de la institución, ambos con el apoyo del Ministerio de Agricultura desde el año 2005.

La remedición de los puntos permanentes de terreno establecidos en el Inventario Continuo, en todas las regiones involucradas, dará la posibilidad de monitorear a futuro con el objeto de dar seguimiento a mejorías o deterioros en las variables e indicadores de los distintos sistemas.

La metodología utilizada es suficientemente robusta y flexible para permitir la inclusión de más información y más sistemas, si se considera necesario, enriqueciendo de esta forma el análisis.

Los aspectos económicos no fueron tocados en este reporte, solo se aproximan los aspectos sociales en el contexto de la participación ciudadana, sin considerar aún, indicadores de relación entre bosque y personas. Este es sin duda un aspecto que debe mejorarse y será parte del diseño muestral de levantamiento de datos del Inventario Continuo en el futuro.

De acuerdo a los resultados obtenidos, las regiones con mejor desempeño respecto de la sustentabilidad de sus bosques son las de la parte sur y austral del país; Los Ríos; Los Lagos, Aysén y Magallanes, mientras que las regiones del Maule y Bio Bio son aquellas con un pobre desempeño general.

En particular, la región de los Ríos presenta tendencias hacia la sustentabilidad de sus ecosistemas forestales, de regular a suficiente, y en contraste la región del Maule presenta una fuerte tendencia de regular a deficiente. En general la sustentabilidad mejora de norte a sur y fisiográficamente mejora de mar a cordillera.

Dentro de las variables más preponderantes, las de mayor influencia corresponden al porcentaje comunal ocupado por plantaciones exóticas y la ruralidad en el Sistema Stress, mientras que en el Sistema Ambiental las variables más incidentes son el índice de Shannon de diversidad Especies en el aspecto Composición, los Residuos Gruesos (tamaño de residuos y grado de descomposición) en los aspectos de Función de los Ecosistemas y el índice de Shannon de diversidad de tamaños de árboles muertos en el aspecto

Estructural. Todas ellas, en conjunto, son indicativas de la condición del bosque a escala de bosque/rodal y dan cuenta de tendencias de los bosques nativos del país hacia la degradación[4], en especial en aquellas zonas/regiones con desempeño calificado como deficiente o regular a deficiente.

El estado de la sustentabilidad de los ecosistemas forestales nativos por zonas fisiográficas es regular con tendencias a deficiente en la Cordillera de la Costa y el Valle Central en todas las regiones, con énfasis en las regiones del norte del área de estudio; Maule, Bio Bio y La Araucanía.

En el Cuadro N° 9 se resume el *ranking* de sustentabilidad para cada región.

Cuadro N° 9
RANKING GENERAL DE SUSTENTABILIDAD POR REGIÓN

Región	Estado	Puntaje Estandarizado* (0 = Regular)	Ranking	Condición
Maule	Deficiente	-0.74	7	Tendencia negativa
Bio Bio	Deficiente	-0.70	6	Tendencia negativa
La Araucanía	Deficiente	-0.57	5	Tendencia negativa
Los Ríos	Regular	-0.01	3	Estable
Los Lagos	Regular	-0.16	4	Estable con tendencia negativa
Aysén	Regular	0.13	1	Estable con tendencia positiva
Magallanes	Regular	0.10	2	Estable con tendencia positiva

(*): Valores estandarizados. Negativos indican condición también negativa,

En el Cuadro N° 10 se describe el *ranking* de la sustentabilidad por región y unidad fisiográfica para aquellas regiones que cuentan con estas unidades de análisis.

4 Degradación: Reducción de los bosques en su capacidad de proveer bienes y servicios (FAO/FRA 2005)

Cuadro N° 10
RANKING DE LA SUSTENTABILIDAD POR REGIÓN Y UNIDAD FISIOGRÁFICA

Región	Unidad Fisiográfica	Estado	Puntaje Estandarizado (0 = Regular)	Ranking	Ranking Región
Maule	Cordillera de los Andes	Deficiente	-0.78	12	7
	Cordillera de la Costa	Deficiente	-0.89	14	
	Valle Central	Deficiente	-0.58	8	
Bio Bio	Cordillera de los Andes	Deficiente	-0.71	10	6
	Cordillera de la Costa	Deficiente	-0.76	11	
	Valle Central	Deficiente	-0.69	9	
La Araucanía	Cordillera de los Andes	Deficiente	-0.25	5	5
	Cordillera de la Costa	Deficiente	-0.88	13	
	Valle Central	Deficiente	-0.65	9	
Los Ríos	Cordillera de los Andes	Regular	0.13	1	3
	Cordillera de la Costa	Regular	-0.02	3	
	Valle Central	Deficiente	-0.20	4	
Los Lagos	Cordillera de los Andes	Regular	0.02	2	4
	Cordillera de la Costa	Deficiente	-0.34	7	
	Valle Central	Deficiente	-0.27	6	

En todas las regiones en que se aplicó esta división en zonas fisiográficas la Cordillera de Costa es la más afectada y su sustentabilidad se encuentra muy empobrecida, le sigue en esta tendencia la Cordillera de los Andes.

Conclusiones

Conclusiones

CONCLUSIONES

Las variables verificadoras utilizadas en el trabajo son rescatadas desde la base de datos del programa de Inventario Continuo de Ecosistemas Forestales de INFOR. Estas variables se asocian a un grupo de indicadores que reflejan la estructura, función y composición de los ecosistemas forestales. Estos indicadores fueron adecuadamente seleccionados a través de la aplicación del enfoque Presión-Estado-Respuesta.

El análisis de los bosques nativos de las regiones involucradas manifiesta tendencias hacia la degradación a nivel de la estructura de los bosques, la composición de las especies, el ciclo de los nutrientes y la capacidad de sostener hábitats y micro hábitats.

Los bosques que componen los ecosistemas forestales nativos de las regiones en observación comprenden 9,08 millones de hectáreas, representan el 67% de los bosques naturales del país y, de acuerdo a este estudio, las regiones del Maule, Bio Bio y Araucanía son aquellas que se encuentran más vulnerables y posiblemente no tendrían la resiliencia suficiente como para enfrentar los cambios climáticos que se avecinan en términos de alteraciones en los regímenes de temperaturas y precipitaciones.

La puesta en vigencia de la Ley sobre Recuperación de Bosque Nativo y Fomento Forestal es, en el contexto de los resultados antes expuestos, un hito importante en el escenario actual, porque constituye una oportunidad de concretar en acciones la recuperación de las capacidades de provisión bienes y servicios de los bosques en consideración al estado y condición actual de los ecosistemas forestales.

Este reporte es indicativo de que el manejo de los recursos comprendidos en los ecosistemas forestales debe necesariamente ser reorientado hacia métodos mas integrales de manejo forestal; manejo ecosistémico, manejo adaptativo, manejo de impacto reducido, e instancias de recuperación que consideren todos los bienes y servicios asociados al recurso bosque, actuando a escalas de operación territoriales y no sólo a nivel específico de rodal, esto es considerar el concepto de ordenación forestal de multirecursos.

En este contexto, se destacan avances importante de iniciativas de colaboración de entidades de investigación, como las de INFOR con asociación de propietarios, tanto de bosque nativo como de plantaciones (Ejemplo: Aprobosque), con apoyo de entes de Gobierno, orientadas a aplicar cabalmente el concepto de sustentabilidad en el tratamiento de los bosques naturales en la región de La Araucanía y la región de Los Ríos.

Los resultados negativos asociados a las regiones del Maule, Bio Bio y Araucanía, comprenden las variables plantaciones y estrés hídrico como agentes de presión. Sin embargo, es importante mencionar que estas regiones acumulan las plantaciones desde décadas a la fecha, y en

su momento histórico fue una respuesta de recuperación ambiental de un estado de degradación de suelos que resultó como consecuencia de un largo período de excesiva presión de la actividad agrícola y ganadera, dando paso al establecimiento de bosques plantados como el único medio de recuperar y proteger los suelos.

El uso de una regla común de medición para todas las regiones, desde el Maule a Magallanes, puede ser también causa de resultados negativos en algunas de ellas, puesto que entre estos territorios se encuentran bosques de complejidad variable, en especial en las regiones de Los Ríos y Los Lagos. Este posible efecto es un aspecto a mejorar en el seguimiento futuro, calibrando latitudinalmente los criterios de evaluación de los indicadores.

Es importante destacar que además de los aspectos directamente relacionados con el funcionamiento de los ecosistemas forestales, han sido objeto de calificación también aquellos aspectos relativos a la capacidad ciudadana de responder ante el estado de sus recursos y su capacidad institucional y científica de apoyar estas respuestas. Si existe baja organización de la sociedad y reducida actividad científica técnica respecto de los ecosistemas forestales de una región respectiva, estos son factores que redundan en valores negativos.

El presente reporte de sustentabilidad de los ecosistemas forestales nativos permite obtener un primer análisis sintético de aspectos ambientales y de la sociedad que influyen en el estado actual de los bosques en estudio y detectar los aspectos que deben ser mejorados en consideración de futuros desarrollos de los ecosistemas forestales en un ámbito sustentable. Su profundidad de análisis se puede incrementar o acentuar en cualquier dirección o reorientar su énfasis de acuerdo a intereses específicos sin desmedro de la temática principal que se centra en la sustentabilidad.

Referencias

Referencias

REFERENCIAS

CONAF – CONAMA, 1997. . Catastro Nacional de las Formaciones Vegetacionales de Chile. Corporación Nacional Forestal y Comisión Nacional del Medio Ambiente.

Dale, V. H. y Beyeler, S. C., 2001. Challenges in the Development and Use of Ecological Indicators. Ecological Indicators I : 3-10

Haila, Y., 1995. Forest Fragmentation: Effects on Vegetation Dynamics. En IUFRO XX World Congress " Caring for the Forest: Research in a Changing World" Congress Report, Vol. II. 189-202.

INFOR, 2009,2010. Inventario Continuo de los Ecosistemas Forestales. Informe Final. Los Recursos Forestales en Chile. Instituto Forestal. Publicación en PDF, www.infor.cl

Jenkins, M. A. y Parker, G. R., 2000. Changes in the Forest Landscape of the Charles C. Deam Wilderness, Southern Indiana, 1939-1990. Natural Areas Journal 20: 46-55.

Murcia, C., 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. Trends in Ecology and Evolution.

Noss, R. F., 1990. Indicators for Monitoring Forest Biodiversity; A Hierarchical Approach. Conservation Biology 4, 355-364.

Veblen, T. T., Kitzberger, T. y Villalba, R., 2004. Nuevos Paradigmas en Ecología y su Influencia sobre el Conocimiento de la Dinámica de los Bosques del Sur de Argentina y Chile. University of Colorado, Boulder, CO, USA- Universidad del Comahue, Bariloche, Argentina, CRICYT , Mendoza, Argentina.

Whitmore, T. C., 1997. Tropical Forest Disturbance, Disappearance and Species Loss. Chapter 1. En: Laurance, R. W. y R. O. Bierregaard (Ed.). Tropical Forests Remnants: Ecology, Management and Conservation of Fragmented Communities. The University of Chicago Press. 616 pp.

Wright, P. A., Alward, G., Colby, J. L., Hoekstra, T. W., Tegler, B. and Turner, M., 2002. Monitoring for forest management unit scale sustainability: The local unit criteria and indicators development LUCID) test (management edition). Fort Collins, CO: USDA Forest Service. Inventory and Monitoring Report No. 5. 54 p.

INFOR

www.infor.cl