

CONDICIONES PARA LA SUSTENTABILIDAD ECOLOGICA DEL MANEJO DE BOSQUES Y EL PROYECTO "RIO CONDOR"

CONDITIONS FOR THE ECOLOGICAL SUSTAINABILITY OF FOREST MANAGEMENT AND THE RIO CONDOR PROJECT

JUAN ARMESTO*,
MARY KALIN ARROYO*
ALEJANDRO PEÑALOZA*

¿Qué es la sustentabilidad ecológica y cómo se logra?

La sustentabilidad ecológica, entendida como la mantención en el tiempo del potencial biológico y físico de un ecosistema forestal para producir la misma cantidad, calidad y diversidad de bienes y servicios (Arroyo *et al.* 1995, Franklin 1995, Panel Científico sobre Bosques Nativos 1996), es un objetivo fundamental de la silvicultura moderna. Aunque no existe un consenso general entre los científicos sobre la forma de alcanzar este objetivo, existe un acuerdo amplio en el sentido que es fundamental la definición explícita de esta meta y la búsqueda de prácticas de cosecha y manejo que sean consistentes con ella.

Este propósito de sustentabilidad no es fácilmente alcanzable. Esto se debe a

que, por una parte, existen limitaciones en nuestro conocimiento de los diferentes grupos de organismos y del funcionamiento de los ecosistemas y, por otra, a que los ecosistemas presentan variaciones impredecibles en el transcurso de un largo período de tiempo, debido a cambios en las condiciones del ambiente (e.g., ciclos climáticos) y a la creciente magnitud del impacto humano en la región y el planeta. Por estas razones, la sustentabilidad es siempre un objetivo a largo plazo, que *no puede ser certificado a priori*.

Para acercarse a esta meta de sustentabilidad ecológica es preciso que las prácticas de manejo de bosques no sean concebidas como prescripciones fijas, con el único objeto de maximizar la producción de un recurso (e.g., madera) y la ganancia a corto plazo, sino como *experiencias de manipulación de un sistema ecológico complejo, asociadas a un programa periódico de revisión y evalua-*

*Laboratorio de Sistemática y Ecología Vegetal, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Casilla 653, Santiago.

ción de los efectos de la intervención sobre la biota y los procesos ecosistémicos. Este programa de mediciones periódicas de variables físicas y biológicas relevantes para la sustentabilidad de los ecosistemas manejados se denomina monitoreo, y en el caso de ecosistemas dominados por especies longevas como los bosques, debe planificarse para períodos de varias décadas como mínimo. Estas mediciones periódicas contribuyen con información valiosa para mitigar los efectos negativos de la manipulación sobre los organismos y el ecosistema y, a la vez, permiten adecuar los protocolos de manejo a las nuevas condiciones del ambiente y al cumplimiento de los objetivos de sustentabilidad cada vez que es necesario.

Este proceso permanente de revisión y rediseño de los planes de manejo silvícola, en función del monitoreo de las experiencias en marcha, es lo que se conoce como **manejo adaptativo**. Por estar centrado en el mantenimiento de la biodiversidad y en las funciones ecosistémicas, el manejo adaptativo debe ser planificado y evaluado por un **equipo multidisciplinario** que incluya científicos y técnicos en áreas que se relacionan con los diferentes aspectos de los ecosistemas manipulados; e.g., recursos hídrico, suelos, flora y fauna. Teniendo en cuenta que la sustentabilidad es un objetivo a largo plazo, con respecto a un sistema ecológico en continuo cambio e insuficientemente conocido, es imprescindible que *todo proyecto de uso de recursos biológicos, que tenga como meta la sustentabilidad ecológica, integre como actividades esenciales el monitoreo y el manejo adaptativo*. Sin estos componentes, las posibilidades de que el uso de los recursos sea ecológicamente sustentable en el largo plazo se ven seriamente reducidas.

Condiciones para la sustentabilidad ecológica

Aunque ningún proyecto puede dar completas garantías de lograr la meta de sustentabilidad, tal como fue definida, es posible establecer ciertas condiciones mínimas que un proyecto forestal debe cumplir para que tenga *un alto potencial de ser sustentable en el sentido ecológico*. Siguiendo la proposición de Grumbine (1994) podemos definir **cinco condiciones mínimas** para el mane-

jo sustentable de un ecosistema: 1) **mantención in situ** de poblaciones viables de especies nativas en áreas productivas; 2) **representación** dentro de áreas de protección de una submuestra de todos los tipos de ecosistemas a nivel regional; 3) **mantención** de los procesos ecológicos a nivel regional (i.e., régimen de perturbaciones, ciclos hidrológicos, ciclos de nutrientes); 4) **conservación** del potencial evolutivo de las especies y ecosistemas; y 5) **adecuación** permanente de las formas de cosecha para satisfacer las condiciones anteriores.

El quinto objetivo corresponde al de realizar un manejo adaptativo. Aunque estas condiciones están referidas a cualquier sistema ecológico, son claramente aplicables al manejo de bosques. En este contexto, *la extracción de los recursos del bosque es siempre un objetivo subordinado al funcionamiento sostenido de los ecosistemas regionales*.

Es evidente que el cumplimiento de las cinco condiciones indicadas *no es igualmente factible* para todos los sistemas ecológicos de bosques nativos, potencialmente productivos. En el caso de los bosques chilenos, las posibilidades de diseñar un manejo sustentable son diferentes en cada tipo de bosque (Tabla 1) por varias razones: a) las experiencias de manejo silvícola para algunos tipos forestales son limitadas o no existen, b) la diversidad específica de los bosques varía marcadamente, siendo más alta en Chile sur-central y menor en la región de los canales y en Tierra del Fuego, c) la complejidad estructural de los bosques, en términos de la presencia de una variedad de formas de vida y estratos verticales también disminuye en el mismo sentido, d) en algunos bosques chilenos, como el bosque valdiviano, las interacciones mutualistas entre plantas y animales (aves e insectos, en especial) son esenciales para la mantención de la capacidad reproductiva de las plantas, e) los conocimientos sobre la flora y la fauna (la biota) de los distintos tipos de bosques es desigual, f) existe una marcada concentración de especies endémicas, vulnerables o con distribución restringida en bosques situados entre 35-40° S, es decir aproximadamente entre el Río Maule y Valdivia, g) las características de estabilidad de los sustratos geológicos y su aporte al ciclo de nutrientes de los bosques

17

TABLA 1. Tipos forestales de Chile y sus características, en relación al potencial de manejo ecológicamente sustentable (ver texto para discusión de definiciones)

<i>Tipo forestal*</i>	<i>Complejidad estructural</i>	<i>Endemismo</i>	<i>Diversidad</i>	<i>Situación de conservación</i>	<i>Perspectivas de manejo sustentable</i>
Alerce	Baja	Bajo	Intermedia	Vulnerable	**
Araucaria	Baja	Bajo	Intermedia	Vulnerable	**
Ciprés de la Cordillera	Baja	Alto	Intermedia	Vulnerable	Limitadas
Ciprés de las Guaitecas	Baja	Bajo	Baja	Vulnerable	?
Coigüe de Magallanes	Baja	Bajo	Baja	Sin peligro (Regiones XI y XII)	Altas
Coigüe-Raulí-Tepa	Alta	Intermedio	Alta	En peligro	Limitadas
Esclerófilo	Baja	Alto	Alta	Vulnerable	Bajas
Lenga	Baja	Bajo	Baja	Sin peligro (Regiones XI y XII)	Altas
Palma Chilena	Alta	Alto	Alta	En peligro	Bajas
Roble-Hualo	Alta	Alto	Alta	En peligro	Bajas
Roble-Raulí-Coigüe	Alta	Intermedio	Alta	En peligro	Limitadas
Siempreverde	Alta	Bajo	Alta	Variable según tipo y lugar	Bajas

* Según Donoso & Lara (1996).

** Protegidos por la legislación actual.

varían en diferentes áreas geográficas.

Considerando esta disparidad en complejidad, diversidad y estado de conocimiento de los distintos tipos forestales, el Panel Científico sobre Bosques Nativos de la Sociedad de Biología de Chile ha propuesto recientemente una categorización preliminar de los bosques chilenos, de acuerdo a su potencialidad para llevar a cabo un proyecto de manejo forestal ecológicamente sustentable (Tabla 1). Algunos tipos forestales, a pesar de contar con una base importante de experiencias de manejo y conocimientos biológicos, están reducidos actualmente a una mínima extensión territorial debido a su intensa explotación¹ en el pasado, situación que es más grave, debido a su práctica ausencia del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNASPE). Además, estos bosques concentran una gran cantidad de especies endémicas o con una distribución restringida en Chile (Armesto *et al.* 1992, Villagrán 1995, San Martín & Donoso 1996). Sobre esta base, no parece factible llevar a cabo un manejo sustentable de estos tipos forestales, objetivo que debe quedar supeditado a un plan para recuperar los bosques degradados y proteger los escasos bosques antiguos remanentes. Ejemplos de estos bosques, en categoría vulnerables, son los bosques Maulinos (Tipo Roble-hualo y otros bosques co-dominados por Roble). Otros tipos forestales, tales como la gran diversidad de tipos de bosques siempreverdes de las regiones costera y andina entre Valdivia y Chiloé, presentan una gran complejidad estructural, debido al alto número de especies y formas de vida, estratificación vertical, y una evidente importancia de interacciones ecológicas entre plantas y animales frugívoros y polinizadores de las flores (Armesto *et al.* 1996), lo cual impone altas exigencias a cualquier proyecto de manejo sustentable.

Los bosques del área del Proyecto Río Condor, dominados esencialmente por una, o en ciertos ambientes, dos especies

¹ La explotación forestal durante la mayor parte del presente siglo, ha constituido una actividad itinerante, que ha extraído los mejores ejemplares de las especies más valiosas de los bosques nativos, hasta agotarlas, sin preocupación por la regeneración de las especies explotadas, ni por otros componentes de la diversidad biológica o por las funciones ecológicas de los bosques (ver Donoso & Lara, 1996):

arbóreas (Arroyo *et al.* 1995), *se encuentran entre los más simples con respecto a su composición de especies leñosas, estratificación y representación de distintas formas de vida.* Las especies arbóreas dominantes, Lenga, Coigüe de Magallanes y Ñirre, no requieren de interacciones con animales para su reproducción por semillas, ya que sus flores son polinizadas por el viento y sus propágulos, igualmente, son dispersados por el viento. Por otro lado, existen numerosos estudios ecológicos y experiencias silvícolas en estos bosques, especialmente en el continente, donde los mismos tipos forestales predominantes en Tierra del Fuego tienen una extensa distribución geográfica. Los números de especies leñosas y endémicas del bosque nativo austral decaen rápidamente al sur de Chiloé y son mínimos en la región Magallánica (Arroyo *et al.* 1996).

En consecuencia, es posible concluir que la potencialidad para desarrollar un proyecto forestal ecológicamente sustentable, objetivo prioritario de todo proyecto silvícola actual, *es menor en los bosques de Chile sur-central (37-42° S), y mayor en los bosques Magallánicos* (Tabla 1), simplemente por las diferencias en complejidad estructural de los bosques y por los conocimientos disponibles.

Debe parecer extraño, en función de este análisis, que las actividades de la industria forestal en Chile, predominantemente basadas en la introducción de especies exóticas de rápido crecimiento y la sustitución de ecosistemas forestales complejos por cultivos monoespecíficos, se concentren exactamente en la región donde los ecosistemas forestales nativos son más vulnerables (Tabla 1) y presentan su mayor complejidad estructural, es decir en Chile sur-central. Donoso & Lara (1996) han señalado que, en esta región, existen **actualmente escasos ejemplos de manejo silvícola de bosques nativos y, en ningún caso, su sustentabilidad ecológica ha sido evaluada.** Las pérdidas del patrimonio biológico de Chile, debido a esta distribución territorial de la industria forestal, orientada a la producción de altos volúmenes de madera, y sin criterios de sustentabilidad ecológica, son posiblemente cuantiosas, como lo indica la concentración de especies en peligro de extinción o vulnerables en Chile sur-central (Benoit 1989, Donoso & Lara 1996).

¿Son las condiciones para lograr la sustentabilidad ecológica satisfechas en el Proyecto Forestal Río Condor?

Respecto a los bosques Magallánicos, las posibilidades de lograr un manejo sustentable serían aceptables, *sólo si las prescripciones de manejo y el proyecto de cosecha forestal satisfacen las cinco condiciones indicadas más arriba y si, al mismo tiempo, se integran en un programa de monitoreo y manejo adaptativo*. De acuerdo a esto, en el texto que sigue se realizó un breve análisis de la medida en que las actividades planificadas por el Proyecto Río Condor satisfacen los requerimientos necesarios para alcanzar la meta ideal de sustentabilidad ecológica. Este análisis se basa en los datos del EIA y en el Informe de la CCI (Arroyo *et al.* 1995).

Condición 1. Mantención *in situ* de poblaciones viables de especies nativas en áreas productivas.

Para poder lograr este objetivo, se ha modificado el sistema de manejo tradicional de los bosques de lenga en Magallanes, planificando un sistema de cosecha "con retención variable de elementos estructurales del bosque". En este protocolo de manejo, aproximadamente un 10% del rodal cosechado se mantiene en la forma de agregados de árboles vivos y muertos en pie (cubriendo entre 0,5 y 1 hectárea en superficie). En el interior de estos agregados es posible retener intactos el suelo orgánico del bosque original y las estructuras leñosas depositadas bajo el dosel. Estas unidades de retención (agregados de árboles), son independientes de la cobertura arbórea mantenida temporalmente con el objeto de proteger la regeneración, y se conservan, como parte del rodal en crecimiento, en forma permanente o, a lo menos durante un ciclo de rotación completo (100 años). Esto permite, que durante el período de crecimiento del bosque cosechado, se mantengan condiciones de hábitat favorables para especies que dependen de estructuras presentes solamente en bosques antiguos (de más de 100 años). Entre estas especies dependientes de bosques antiguos se encuentran, por ejemplo: a) líquenes epífitos que crecen sobre las ramas de grandes árboles del dosel; b) aves,

tales como los carpinteros y aves de presa, que requieren de grandes árboles muertos o decadentes que les sirven como sitios de anidación o paradero; c) aves y pequeños mamíferos que viven en el piso del bosque refugiándose bajo los troncos caídos; d) microorganismos, hongos e invertebrados que habitan y se alimentan en el piso del bosque y en el material leñoso en descomposición; y e) especies herbáceas que se desarrollan bajo el dosel del bosque.

Estas especies tienden a desaparecer de las áreas de cosecha, en la medida en que bosques antiguos de estructura compleja son transformados en grandes extensiones de bosques juveniles, coetáneos, en crecimiento. La existencia de unidades remanentes del bosque original, distribuidas en todas las áreas raleadas por la cosecha, otorgan mejores expectativas de sobrevivencia a las especies asociadas a los hábitat de bosques antiguos, en el paisaje constituido por bosques intervenidos. Además estos agregados de árboles remanentes determinan una mayor *conectividad* a nivel del paisaje regional entre los bosques no intervenidos (e.g., áreas protegidas o franjas de protección de riberas), posibilitando el movimiento de especies a través de las áreas cosechadas,

En conclusión, *el sistema de cosecha con retención de agregados de árboles del bosque original permitiría la sobrevivencia de un número mayor de especies silvestres en las áreas cosechadas* que las técnicas silvícolas tradicionales, aunque estas predicciones deben ser verificadas a través del monitoreo de los sitios intervenidos. Aunque las poblaciones de especies cuyo hábitat está limitado a bosques de edad avanzada probablemente tenderían a disminuir su abundancia a nivel regional debido a la cosecha de grandes áreas de bosques, esta reducción sería significativamente reducida por la existencia de unidades de retención que actuarían como "refugios" para dichas especies en bosques de producción. Incluso si algunas especies de bosques antiguos persistieran solamente en reservas, rodeadas de bosques manejados, la existencia de los agregados de árboles antiguos retenidos en las áreas de cosecha, permitiría que el paisaje sostuviera poblaciones mayores de tales especies, ya que podrían ser capaces de utilizar recursos presentes en las unidades de retención.

TABLA 2.- Características de las Reservas Biológicas del Proyecto Río Cóndor (superficie total, 63.000 hectáreas) Según Arroyo et al. (1996 documento no publicado)

Reservas	Rango altitudinal (m)	Principales tipos de vegetación	Clima	Precipitación (mm)
Río Caleta	150-600	Bosque de coigüe turbera, bosque de lenga, coigüe-lenga	moderado	800-900
Canal Whiteside	0-200	Bosque de coigüe, bosque mixto costero	moderado	1000-1200
Lago Escondido	80-950	Bosque de lenga, mixto coigüe-lenga, coigüe, turbera.	continental	800-1000
Lago Blanco	250-1000	Bosque de lenga, altoandino, ñirre	continental	600-800
Kami	0-1200	Altoandino, ñirre, lenga, bosque mixto costero	moderado	900-1200

Condición 2. Representación dentro de áreas de protección de una muestra representativa de los ecosistemas a nivel regional.

Existe una variedad de tipos de bosques y condiciones edáficas y climáticas representadas en la extensa propiedad de Río Condor, los cuales han sido caracterizados en gran detalle en cuanto a su composición florística y faunística (Arroyo *et al.* 1995). Como condición previa al inicio de las actividades forestales, la Comisión Científica Independiente del Proyecto Río Condor, solicitó a la Empresa el establecimiento de un sistema de Reservas Biológicas permanentes, que contuviera una muestra representativa de los tipos de bosques regionales y su variabilidad debido a diferencias climáticas, topográficas y edáficas. Este Sistema de Reservas fue diseñado y definido por un equipo de científicos en Diciembre de 1995, de modo de garantizar una representación adecuada de los grandes ecosistemas de la región incluyendo, además de bosques, sistemas de turberas, zonas alpinas y sistemas acuáticos (ríos y lagos). Se consideró en este diseño una estrategia de "grano grueso" (Simonetti & Armesto 1991), es decir un sistema de reservas que, al contener áreas significativas de una variedad de ecosistemas, pudiera conservar

además poblaciones de aquellas especies consideradas en categoría vulnerable. El Sistema de Reservas Biológicas fue aprobado por la empresa en enero de 1996 (Tabla 2) y cubre en total una superficie de más de 63.000 hectáreas, incluyendo más de 20.000 hectáreas de bosques de ñirre, coigüe de Magallanes, lenga y bosques costeros.

El establecimiento de estas Reservas Biológicas privadas, que servirán además como áreas de estudio, educación y recreación, constituye un hecho sin precedente en la historia de la industria forestal en Chile, lo cual debe ser reconocido como un paso significativo de este proyecto hacia la meta de la sustentabilidad ecológica. El sistema de reservas es parte de una estrategia de conservación combinada con el empleo de técnicas de cosecha que posibilitan la retención de agregados del bosque original en bosques de producción. En conjunto estas acciones, hacen que el paisaje regional mantenga una conectividad desde el punto de vista de las especies silvestres y, en consecuencia una mayor diversidad biológica. Así, aunque muchas poblaciones silvestres disminuyan en las áreas de cosecha, nuevos individuos pueden colonizar las unidades de retención, a partir de las Reservas cercanas.

Condición 3. Mantenición de los procesos ecológicos a nivel regional.

Este objetivo es el más seriamente limitado en la mayoría de los proyectos silvícolas, debido al *escaso conocimiento que existe, para la mayor parte de los ecosistemas de bosques nativos, de los procesos ecológicos esenciales para su sustentabilidad*. Sin embargo, debería considerarse necesario prevenir, al menos, tres situaciones críticas: a) efectos negativos del manejo sobre la regulación de los ciclos hidrológicos, que podrían causar excesiva escorrentía o anegamientos, b) efectos negativos sobre los nutrientes almacenados en el suelo orgánico y los ciclos de nutrientes en los bosques, y c) efectos negativos sobre las poblaciones de plantas o animales que actúan como mutualistas; es decir, que participan en interacciones entre dos o más especies, que benefician a todos los organismos participantes.

Entre estas últimas, son especialmente importantes las interacciones de polinización, dispersión de semillas y las asociaciones micorrízicas (plantas y hongos). La polinización es fundamental para la reproducción por semillas y la mantención de los niveles de variación genética en las poblaciones de árboles. La dispersión de semillas por animales (aves, mamíferos) es necesaria porque distribuye las semillas en áreas extensas, posibilitando la recolonización de sitios intervenidos o perturbados. Las asociaciones micorrízicas, hongos que crecen asociados a las raíces de las plantas, son esenciales para la nutrición de la mayoría de las especies arbóreas (Godoy *et al.* 1994), ya que facilitan la extracción de nutrientes del suelo.

Los estudios de línea de base del proyecto Río Condor indicaron que, al menos en lo que respecta a las especies arbóreas de interés económico en Tierra del Fuego, las interacciones mutualistas de polinización y dispersión son irrelevantes, ya que estos procesos son efectuados por el viento, que es un factor permanente en la región (Arroyo *et al.* 1995). Las asociaciones micorrízicas podrían verse afectadas por el impacto de las actividades en las áreas cosechadas, tales como compactación del suelo y pérdida del horizonte orgánico. Una forma de mitigar este potencial daño, es a través de la retención de

agregados de bosques con suelo intacto dentro de los rodales de producción, medida que ha sido propuesta para el proyecto Río Cón-dor. Los agregados servirían como "fuentes" de propágulos de hongos micorrízicos, ampliamente dispersas en el paisaje, para recolonizar las áreas intervenidas en la medida que la abundancia y diversidad de hongos disminuya por efectos de la labor de cosecha.

Con respecto al posible impacto en la regulación de los ciclos hidrológicos, debe reconocerse que toda desforestación, aún limitada, tiende a cambiar los regímenes hídricos, produciendo anegamientos, erosión y sedimentación en ríos y lagos. Para mitigar estos impactos, el proyecto Río Cón-dor contempla la mantención de zonas forestadas intocadas en las riberas de todos los cursos de agua y lagos de la propiedad, método que, en general, tiende a reducir la escorrentía y reducir el flujo de los cauces. Debe considerarse que el impacto debe ser mitigado aún más, por dos razones: a) las áreas cosechadas mantendrán, de acuerdo al protocolo silvícola, *una cobertura de protección* durante las primeras etapas del desarrollo de la regeneración, reduciendo la erosión por impacto directo de la lluvia en el suelo, y b) *existirá un número de grupos de árboles correspondientes a retención permanente del bosque original, con una densidad de, a lo menos, una por cada 5-10 hectáreas de bosques intervenidos*, que contribuirán también a regular el movimiento del agua a través del ecosistema. En conjunto estas medidas deberían reducir los efectos debidos a escorrentía, sin perjuicio de que puedan planearse otras acciones, como resultado de un plan de monitoreo de cuencas que ha sido recomendado por la CCI del proyecto Río Cón-dor, y aceptado por la Empresa. En referencia a la regulación del ciclo hidrológico en áreas inundadas estacionalmente, es importante indicar que la CCI ha acordado con la Empresa la conservación de todos los bosques de ñirre de la propiedad que constituyen cinturones de amortiguación alrededor de las vegas y turberas. Igualmente, la Empresa ha acordado no cosechar en pendientes mayores a 35% hasta que se realicen estudios que permitan garantizar que el impacto sobre la erosión y los recursos hídricos sea mínimo.

En relación a los ciclos de

nutrientes, estudios en bosques del hemisferio norte (Bormann & Likens 1979, Vitousek & Matson 1984) documentan que la cosecha de biomasa, además de remover nutrientes directamente, afecta la capacidad del ecosistema de retener y reciclar los nutrientes del suelo. En una medida importante estas pérdidas se deben a escurrimiento y erosión a través de los cursos de agua, y a la eliminación de las poblaciones de microorganismos asociadas a la hojarasca y detritus orgánico. Ya nos referimos a las formas en que la erosión superficial de sedimentos orgánicos es mitigada por el manejo forestal. En cuanto a los microorganismos y a la capacidad del ecosistema de retener nutrientes esenciales después de la intervención, uno de los propósitos del sistema de cosecha con retención de agregados es mantener la funcionalidad de estos procesos en el área intervenida. De particular relevancia en este sentido, es la *conservación de los estratos de hojarasca y suelo orgánico intactos dentro de los agregados, y la retención de material leñoso y detritus acumulado en el suelo*. Esta metodología permitiría mantener los nutrientes acumulados en el suelo y la actividad de microorganismos que son capaces de retener nutrientes y reciclarlos para su uso por los árboles en crecimiento. Es importante resaltar, nuevamente, la necesidad de implementar estudios y programas de monitoreo que permitan evaluar los cambios en la concentración de nutrientes en los suelos de bosques manejados y no perturbados. Estos análisis requieren una escala temporal de varios años (> de una década), debido a las fluctuaciones estacionales y de corto plazo (Bormann & Likens 1979) esperables en los contenidos de nutrientes, acumulación de hojarasca y flujo de agua en las cuencas hidrológicas. Es importante notar que los estudios de estos procesos deben realizarse a nivel de cuencas hidrológicas, probablemente involucrando varios rodales manejados, ya que los procesos de ciclaje de nutrientes tienen escalas espaciales más amplias que la de un rodal. El programa de monitoreo del Proyecto Río Cóndor contempla un estudio detallado de los mecanismos de ciclaje y almacenaje de nutrientes y los impactos de diferentes formas de manejo.

Condición 4. Conservación del potencial evolutivo de las especies y ecosistemas.

Este objetivo puede ser evaluado a través del análisis de la capacidad del proyecto para: a) proveer hábitats extensos para las especies silvestres, b) mantener los potenciales de migración y cruzamiento de las especies a través del área manejada, es decir su potencial de variación genética, c) mantener poblaciones mínimas viables de las especies silvestres, y d) conservar muestras representativas de los ecosistemas regionales.

Con respecto a estos puntos el Proyecto Río Cóndor contempla: Un Sistema de Reservas Biológicas de 63.000 hectáreas (Tabla 2) que permite la subsistencia de poblaciones de plantas y animales silvestres en sus hábitat originales, boscosos, vegas o acuáticos. Este sistema de áreas de reserva se interconecta a través de las áreas manejadas por intermedio de los cinturones de amortiguación a orillas de ríos, lagos, vegas y turberas, permitiendo la migración de poblaciones a través de franjas de hábitat continuas y posibilitando los cruzamientos entre poblaciones alejadas. El empleo de un sistema de cosecha con retención variable de agregados de árboles, amplía la extensión de los hábitat de bosques antiguos y además facilita el movimiento de especies entre las reservas funcionando como un sistema de "islas" o "piedras de paso" para el movimiento de especies. *En conjunto, las reservas biológicas, los cinturones de amortiguación, y los agregados en áreas manejadas forman parte de un sistema interconectado de hábitats con el fin de mantener las poblaciones silvestres y su potencial evolutivo a nivel regional.*

La existencia de este sistema interconectado contribuye a satisfacer las condiciones a) y b) del párrafo anterior. En cuanto al punto d), la cobertura de ecosistemas del sistema de reservas biológicas fue diseñado para cubrir en su mayor extensión el espectro completo de condiciones ambientales y formaciones vegetales que se encuentran en la región (Arroyo *et al.* 1995).

En relación a la mantención de poblaciones mínimas viables de las especies, este objetivo requiere la cuantificación de densidades poblacionales en especies consideradas en situación crítica. Estos análisis de-

TABLA 3.- Relación de las actividades del proyecto Río Cóndor con cinco objetivos de sustentabilidad ecológica definidos por Grumbine (1994).

Condiciones para la sustentabilidad ecológica	Cinturones de amortiguación	Reservas Biológicas	Cosecha de retención de agregados	Monitoreo e investigación	Manejo adaptativo
1. Poblaciones silvestres en áreas de producción	X		X	X	
2. Protección de ecosistemas representativos	X	X	X		
3. Mantenimiento de procesos ecológicos y ecosistémicos	X	X	X	X	
4. Mantenimiento del potencial evolutivo		X	X	X	
5. Adecuación de planes de manejo y cosecha				X	X

ben hacerse en las áreas bajo manejo, a través del programa de monitoreo, con el fin de evaluar si las poblaciones son afectadas negativamente por el manejo silvícola, *no es posible determinar estos efectos a priori*. En el caso de las aves, por ejemplo, la fragmentación de los bosques reduce algunas poblaciones, aumentando otras (Willson *et al.* 1994). En todo caso, el diseño de los métodos de cosecha del proyecto, que incluyen la retención de agregados del bosque original, y la existencia de reservas biológicas son dos aspectos que contribuyen a aminorar los efectos de la cosecha sobre las poblaciones silvestres, al salvaguardar una mayor cantidad de hábitat para estas especies a nivel regional.

Condición 5. Adecuar permanentemente las técnicas de cosecha para el cumplimiento de los objetivos de sustentabilidad.

Esta condición representa un compromiso, que el Proyecto Río Cóndor ha asumido, para revisar periódicamente las prescripciones de manejo y los volúmenes de cosecha, ajustándolos al cumplimiento de las condiciones 1 a 4 de los objetivos de sustentabilidad ecológica. Estos ajustes periódicos deben basarse en un programa de monitoreo, que la Empresa realizará a través de su pro-

pio equipo multidisciplinario de investigadores, bajo la supervisión de la Comisión Científica Independiente. Además de este programa de monitoreo propio, la empresa ha comprometido recursos para financiar investigaciones independientes, a cargo de la Comisión Científica, con el fin de evaluar aspectos complejos de la sustentabilidad ecológica del proyecto, tales como los efectos del manejo en los ciclos de nutrientes y los ciclos hidrológicos.

CONCLUSIÓN

Aunque las condiciones para la sustentabilidad ecológica son un tema actualmente en discusión por la comunidad científica, existe un amplio espectro de investigadores que concuerdan en que, como meta, se debería satisfacer, en la medida de lo posible, las cinco condiciones indicadas en la sección anterior (Grumbine 1994). En esta revisión, hemos verificado que el Proyecto Río Condor contiene elementos que permiten tener una razonable expectativa de lograr un manejo ecológicamente sustentable de los bosques de Tierra del Fuego. Este proyecto consulta propuestas inéditas en otros proyectos forestales en Chile, como son: 1) El diseño de un sistema permanente de Reservas

Biológicas privadas, que contienen muestras representativas de los ecosistemas y su variación ambiental dentro de la región, 2) el empleo de técnicas de manejo silvícola que permiten la mantención de rodales complejos, por medio de la retención de agregados de árboles del bosque original dentro de los bosques en crecimiento, y 3) el compromiso de llevar a cabo un plan de investigación y monitoreo dedicado a analizar los impactos del manejo sobre la biodiversidad y los ecosistemas, que será usado como una fuente de información relevante para la modificación de las prácticas silvícolas.

Debe reconocerse que el objetivo de sustentabilidad ecológica no está garantizado por las medidas analizadas, pero esto es cierto para cualquier proyecto de esta naturaleza. La cuestión relevante es cuáles son los elementos que permiten juzgar la factibilidad de lograr un manejo forestal ecológicamente sustentable en Tierra del Fuego. En primer lugar, en el área de Tierra del Fuego, los bosques tienen la *mínima complejidad en términos de composición de especies y estructura que se encuentra en los bosques de nuestro país* (Tabla 1). Esta situación, junto a la existencia de una base de conocimientos sobre la ecología y la silvicultura de estos bosques, superior a la que existe para otros tipos de bosques chilenos, permite inferir que existen posibilidades razonables de llevar a cabo un uso ecológicamente sustentable de estos ecosistemas. Analizando las cinco condiciones propuestas por Grumbine (1994), en su revisión del concepto de sustentabilidad en ecología, podemos concluir que el Proyecto Río Cóndor es probablemente *uno de los únicos proyectos forestales en Chile que incluye actividades y planes orientados a cumplir cada una de estas cinco condiciones* (Tabla 3).

LITERATURA CITADA

- ARMESTO, J. J., C. SMITH-RAMIREZ, P. LEÓN & M. T. K. ARROYO., 1992. Biodiversidad y conservación del bosque templado en Chile. *Ambiente y Desarrollo* 8: 19-24.
- ARMESTO, J. J., C. SMITH-RAMIREZ & C. SABAG., 1996. The

- importance of plant-bird mutualism in the temperate rainforest of Southern South America. In: *High Latitude Rain Forests and Associated Ecosystems of the West Coast of the Americas: Climate, Hydrology, Ecology and Conservation*. R. E. Lawford, P. Alaback & E. R. Fuentes, Ed.: 248-265. Springer-Verlag, Berlin.
- ARROYO, M. T. K., J. J. ARMESTO, C. DONOSO, R. MURUA, E. PISANO, R. SCHLATTER & I. SEREY., 1995. Hacia un proyecto forestal ecológicamente sustentable: resumen ejecutivo. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 68: 529-538.
- ARROYO, M. T. K., L. CAVIERES, A. P. G. PEÑALOZA, M. RIVEROS & A. M. FAGGI., 1996. Relaciones fitogeográficas y patrones regionales de riqueza de especies en la flora del bosque lluvioso templado de Sudamérica. En: *Ecología de los Bosques Nativos de Chile*. J. J. Armesto, C. Villagrán & M. K. Arroyo, Eds.: 71-99. Editorial Universitaria.
- BORMANN, F. & G. LIKENS., 1979. *Pattern and Process in a Forested Ecosystem*. Springer, New York.
- BENOIT, I., 1989 (Ed.). *Libro Rojo de la Flora Terrestre*. Conaf, Santiago.
- DONOSO, C. & A. LARA., 1996. Utilización de los bosques nativos en Chile: pasado, presente y futuro. En: *Ecología de los Bosques Nativos de Chile*. J. J. Armesto, C. Villagrán & M. K. Arroyo, Ed.: 363-387. Editorial Universitaria.
- FRANKLIN, J., 1995. Sustainability of managed temperate forest ecosystems. In: *Defining and Measuring Sustainability*. The Biogeophysical Foundations. M. Munasinghe & W. Shearer, Eds.: 355-385. The United Nations University and The World Bank.
- GODOY, R., R. ROMERO & R. CARRILLO., 1994. Estatus micotrófico de la flora vascular en bosques

de coníferas del sur de Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 67: 209-220.

GRUMBINE, P., 1994. What is ecosystem management?. *Conservation Biology* 8: 27-38.

PANEL CIENTIFICO SOBRE BOSQUES NATIVOS., 1996. *La Nueva Legislación y el Manejo Sustentable de los Bosques Nativos Chilenos.* Sociedad de Biología de Chile.

SAN MARTIN, J. & C. DONOSO., 1996. Estructura florística e impacto antrópico en el bosque maulino de Chile. En: *Ecología de los Bosques Nativos de Chile.* J. J. Armesto, C. Villagrán & M. K. Arroyo, Eds.: 153-168. Editorial Universitaria.

SIMONETTI, J. & J. J. ARMESTO., 1991. Conservation of temperate ecosystems in Chile: coarse versus fine-filter approaches. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 64: 615-626.

VILLAGRAN, C., 1995. Quaternary history of the Mediterranean vegetation of Chile. In: *Ecology and Biogeography of Mediterranean Ecosystems in Chile, California and Australia.* M. T. K. Arroyo, P. H. Zedler & M. D. Fox, Eds.: 3-20. Springer-Verlag.

VITOUSEK, P. M. & P. A. MATSON., 1984. Mechanisms of nutrient retention in forest ecosystems: a field experiment. *Science* 255: 51-52.

WILLSON, M. F., T. L. DE SANTO, C. SABAG & J. J. ARMESTO., 1994. Avian communities of fragmented South-temperate rainforest in Chile. *Conservation Biology* 8: 508-520.