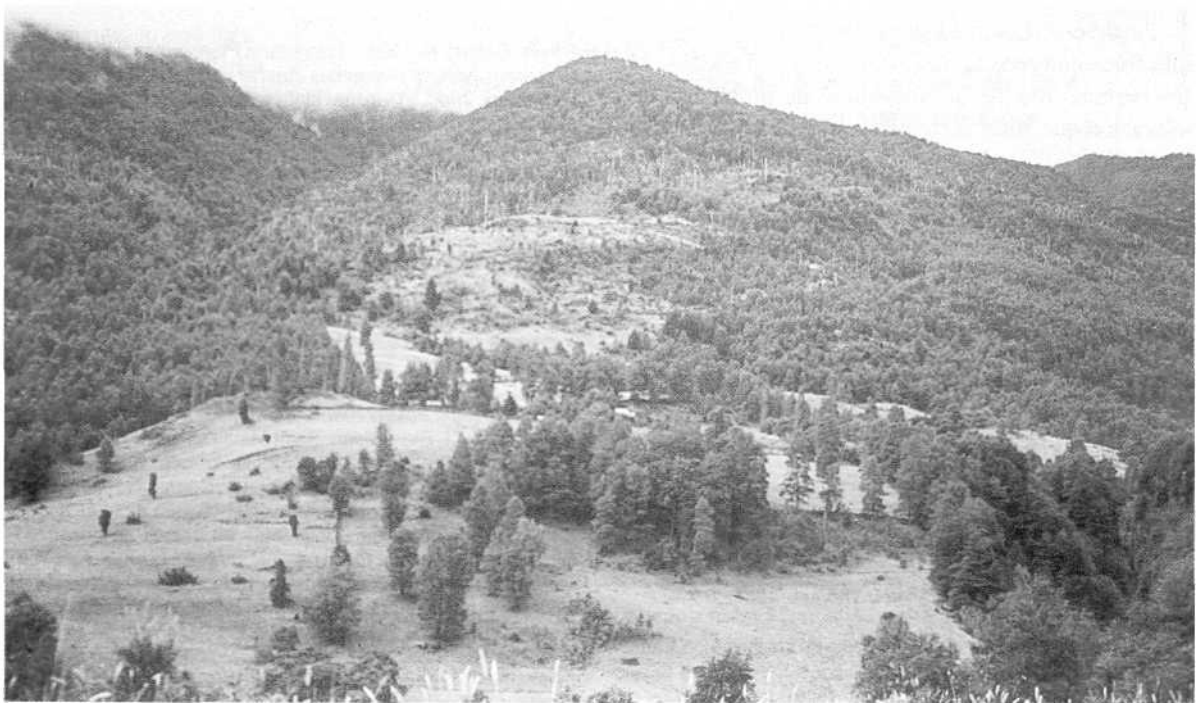


Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos

La creciente intervención humana sobre los paisajes naturales ha ido fragmentando el hábitat de diversas especies, lo que puede derivar en pérdida de biodiversidad. Actualmente, la fragmentación de los bosques nativos representa, tal vez, uno de los ejemplos más preocupantes. Frente a proyectos de inversión que impliquen la fragmentación de bosques, se han sugerido diversos diseños ecológicos —tales como zonas de amortiguamiento o corredores biológicos—para minimizar o bien revertir estos impactos negativos.

Ramiro Bustamante* Audrey A. Grez**

Existen diversos agentes generadores de perturbación sobre los ecosistemas naturales, tales como erupciones volcánicas, tormentas y derrumbes, entre otros. Sin embargo, hay consenso en que el principal agente perturbador en la actualidad es el ser humano[1].

En los últimos 10 mil años la actividad humana sobre el planeta—la agricultura, ganadería, construcción de asentamientos humanos y vías de acceso— ha determinado que la gran mayoría de los paisajes contemporáneos presenten algún grado de fragmentación[2].

Los bosques nativos se cuentan entre los ecosistemas que han sufrido un mayor grado de fragmentación. Esta fragmentación puede ser definida como la transformación de un bosque continuo en muchas unidades más pequeñas y aisladas entre sí, cuya extensión areal resultante es mucho menor que la del bosque original.

En los bosques nativos, la fragmentación es un

' Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile.
* Departamento de Ciencias Biológicas Animales, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile.

VOL. XI N°2, pp 58 -63 (ISSN 0716-1476)

fenómeno que ha congregado una gran atención debido a sus implicancias en la conservación de la biodiversidad[3] En Costa Rica por ejemplo. los bosques tropicales se han reducido y fragmentado dramáticamente en los últimos 50 años, producto del crecimiento que ha experimentado la actividad agropecuaria de ese país[4]. Un fenómeno similar se aprecia en el sur de Chile, donde la necesidad de áreas para pastoreo y cultivo, más la sustitución en algunos casos por plantaciones de árboles exóticos, ha tenido como resultado una dramática fragmentación y reducción del área que ocupaban originalmente los bosques-"[1].

Desde la perspectiva de la conservación de la biodiversidad. es importante averiguar cómo la fragmentación de los bosques afecta al funcionamiento general de la flora y fauna remanente. En este ensayo se da una visión suscinta del estado del conocimiento de este tipo de problemas. Se muestran algunos estudios de fragmentación de bosques nativos en Chile y. finalmente, se proponen algunas medidas que permitan minimizar o bien revertir los efectos negativos de estas perturbaciones de origen humano.

Fragmentación de bosques: patrones y consecuencias

Un bosque fragmentado puede ser descrito por atributos tales como número de fragmentos, tamaño, forma y grado de aislamiento de los fragmentos (Figura 1). El tipo de matriz que rodea a los fragmentos también es importante en esta caracterización. Los fragmentos pueden estar rodeados de vegetación secundaria, cultivos, asentamientos humanos y vías de acceso. Fragmentos pequeños tienen una relación perímetro/área mayor que fragmentos grandes, lo cual significa una mayor influencia de la matriz circundante (Figura la).

El conjunto de los efectos de la matriz sobre un fragmento se conoce como «efecto borde», el cual se puede manifestar en cambios abióticos[6] y bióticos[7] al interior de un fragmento, principalmente en su perímetro. El efecto borde puede llegar a ser importante si los fragmentos son alargados o de formas irregulares. Esto se debe a que. independientemente de su tamaño, fragmentos irregulares también poseen una relación perímetro/área mayor que fragmentos más regulares (Figura Ib).

Una matriz con estructura similar a la de un fragmento de bosque (por ejemplo, con cobertura y estructura vertical similares) tendrá una influencia menor que una matriz con estructura muy diferente (Figura le). Es decir, un fragmento de bosque que está rodeado por otro tipo de vegetación boscosa, sufrirá un efecto borde menor que otro rodeado por una pradera[8].

El grado de aislamiento entre fragmentos puede estar determinado tanto por la distancia entre ellos como por el tipo de matriz que los rodea (Figura 1 d). Por ejemplo, dos fragmentos pueden estar cercanos en términos de distancia, pero pueden estar funcionalmente aislados si están rodeados por una matriz que impide el intercambio de organismos.

Todos estos atributos, en su conjunto, conforman el patrón de fragmentación del bosque. Sus efectos sobre la flora y fauna nativa van a depender, además, de las características biológicas de los organismos que habitan los fragmentos. Es así como organismos con una gran capacidad de dispersión, organismos generalistas en el uso de recursos u organismos con ámbitos de hogar pequeños[l], se verán menos afectados por la fragmentación que organismos más sedentarios, especialistas o con ámbitos de hogar grandes[1]".

La fragmentación de bosques puede afectar las condiciones abióticas de los fragmentos, la composición y abundancia de las especies asociadas a ellos, o bien puede afectar indirectamente algunas interacciones biológicas tales como mutualismo. depredación y competencia (Figura 2).

Efectos abióticos
(sobre el medio ambiente físico)

Los cambios microclimáticos son los efectos más evidentes de la fragmentación de bosques (Figura 2). La existencia de dos tipos de parches ambientales—bosque vs. matriz— con características microclimáticas contrastantes, produce un gradiente ambiental desde el borde hacia el interior del fragmento. Generalmente, la luminosidad, la evapotranspiración, la temperatura y la velocidad del viento disminuyen, mientras la humedad del suelo aumenta hacia el interior del fragmento" [l:. Este efecto de borde puede, en algunos casos, penetrar varias decenas de metros hacia el interior del fragmento y su importancia relativa dependerá del tamaño del fragmento". Por ejemplo, en un fragmento pequeño, el efecto borde es comparativamente más importante que en un fragmento más grande, pudiendo en este caso llegar a abarcar la totalidad del fragmento.

Efectos bióticos
(sobre la flora y fauna)

Una consecuencia directa de la fragmentación de bosques son los cambios en la abundancia y composición

de especies (Figura 2).

Por una parte, la reducción y aislamiento del bosque remanente puede llevar a una reducción en los números poblacionales de las especies que habitan los fragmentos, ya sea por un aumento de la mortalidad o por un aumento en las emigraciones de los individuos. Por ejemplo, los escarabajos estiercoleros de los bosques tropicales del Brasil, tienen poblaciones menos abundantes en fragmentos pequeños que en fragmentos grandes[14]. Igualmente, las poblaciones pequeñas tienen en general una mayor probabilidad de extinción local debido a variaciones aleatorias que experimentan las poblaciones en su abundancia y composición genética[11], o bien a una pérdida de variabilidad genética por cruzamientos consanguíneos[16].

Por otra parte, la fragmentación de los bosques nativos puede facilitar la invasión de nuevas especies a los fragmentos, debido a los cambios microclimáticos que ocurren en ellos. Este fenómeno ha sido frecuentemente documentado en bosques tropicales, los cuales luego de ser fragmentados han sido colonizados por plantas exóticas[17].

Resumen

En forma creciente las actividades humanas están teniendo un efecto de fragmentación sobre los paisajes naturales. Este fenómeno es particularmente activo y preocupante en el caso de los bosques nativos. Los estudios de fragmentación enseñan que los parches pequeños e irregulares resultan más afectados por la influencia de la matriz circundante. Del mismo modo, mientras más diferente es la matriz con respecto al parche, mayor es la influencia de ésta sobre el mismo. El aislamiento es también un factor que disminuye la conectividad de tos *fragmentos en el paisaje. En consecuencia, si se desea que los parches existentes de bosque nativo se recuperen y desarrollen, es conveniente diseñar áreas de amortiguamiento entre ellos y la matriz. Cuando sea posible, debe mantenerse o crearse corredores biológicos que conecten parches entre sí, de manera de permitir el movimiento de organismos entre fragmentos. Este tipo de diseños pueden ser usados como medidas de mitigación en proyectos de inversión cuyo impacto ambiental sea, en parte, la fragmentación de bosques.*

Abstract

Human activities have begun to have a growing impact on natural landscapes. This has, in turn, led to the fragmentation of the habitats of various species of flora and fauna. This phenomenon is especially present and of concern in the case of native forests. Studies of this process of fragmentation have shown that small and irregularly-shaped plots are more effected by the invasion of foreign species, stemming from the surrounding matrix. Similarly, the greater the difference between the surrounding matrix and an isolated plot, the greater the impact of the former on the later. Isolation is also a factor that effects the ecological stability of the area. Therefore, if there is an intention of developing or recuperating existing plots of native forests, it would be advisable to design areas that could serve as cushions between ecologically endangered sites and the larger matrix. Where possible, biological corridors should be maintained or created to connect these sites, so as to permit movement of fauna. This type of design can be used as a mitigation measure for investment projects whose environmental impact, in part, is the fragmentation of forests.

La fragmentación de bosques puede afectar indirectamente la intensidad y calidad de las interacciones biológicas (Figura 2). Procesos tales como la polinización o la dispersión de semillas pueden ser afectados por la fragmentación[18-19.] Por ejemplo, la fragmentación de bosques en el Chaco Serrano, en Argentina, reduce las poblaciones de insectos polinizadores nativos y facilita la entrada de abejas domésticas *(Apis melífera)*[1]". Este recambio en los polinizadores reduce la eficiencia de polinización y, finalmente, la producción de semillas en las plantas[21].

La depredación también puede verse afectada por la fragmentación de bosques. En bosques templados y tropicales, por ejemplo, la tasa de consumo de huevos y polluelos de aves es muy intensa en los bordes de los fragmentos, debido a la invasión de depredadores desde la matriz".

La extinción diferencial de herbívoros nativos grandes, producto de la fragmentación del bosque, puede afectar la estructura comunitaria. En bosques tropicales, por ejemplo, la extinción de agoutís y otros herbívoros nativos, ha producido una disminución de la diversidad de plantas. Esto se debería a una dominancia de especies de plantas muy competitivas, las cuales eran activamente consumidas cuando cohabitaban con estos herbívoros[21-4].

Un efecto adicional de la fragmentación de los bosques es la modificación de algunos procesos ecosistémicos tales como la descomposición de la materia orgánica. La disminución de los escarabajos estiercoleros producto de la fragmentación en bosques amazónicos[11], significa una disminución en la tasa de descomposición de las fecas, lo cual se traduce a su vez en una reducción de nutrientes en el suelo. Adicionalmente, la disminución en la humedad del suelo producto de la fragmentación, reduce la actividad microbiana y, con ello, la tasa de descomposición de la materia orgánica[26]. Todos estos cambios inducidos por la fragmentación de los bosques nativos tienen como consecuencia última cambios en la biodiversidad de dichos bosques (Figura 2).

La fragmentación de bosques en Chile

En Chile, la explotación del bosque nativo ha resultado en una dramática fragmentación y reducción areal de estos bosques. Sin embargo, los estudios específicos que indiquen las consecuencias de este proceso de degradación por causa de actividad humana sobre la biodiversidad, son muy escasos. A continuación se muestran antecedentes de fragmentación en dos tipos de bosques: el bosque de ruil (VII Región) y el bosque valdiviano en Chiloé.

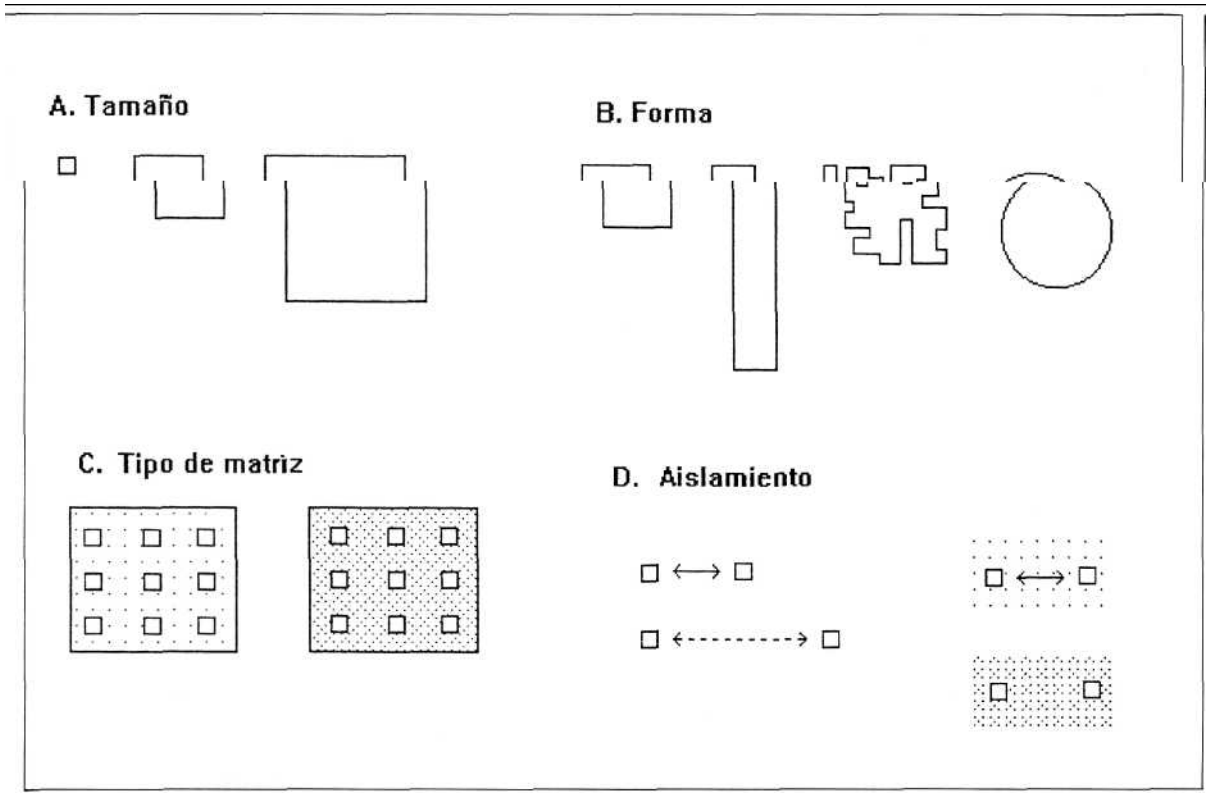


Figura 1. Atributos comúnmente usados para describir la fragmentación de un bosque nativo. La matriz indicada con achurado suave muestra una diferencia ambiental menor entre la matriz y el fragmento. La matriz que se indica con achurado obscuro, muestra una diferencia ambiental mayor entre la matriz y el fragmento.

El bosque de ruil

El bosque de ruil[27] se encuentra ubicado en la Cordillera de la Costa de la VII Región. La especie arbórea dominante es el ruil *(Nothofagus alessandrü),* el que coexiste, entre otros, con el hualo *(Nothofagus glauca),* el peumo *(Cryptocarya alba),* el olivillo *(Aextoxicon punctatum)* y el avellano *(Gevuina avellana)*[2]*.

Desde fines del siglo XIX, este bosque ha sufrido un intenso proceso de deforestación[29]. En la actualidad, el paisaje es un mosaico con fragmentos de bosque nativo, inmersos en una matriz formada casi exclusivamente por plantaciones de pino insigne *(Pinus radiata).* Actualmente existen 352,2 há de bosque de ruil, distribuidas en 185 fragmentos con un tamaño promedio de 1,9 há, y menos del 5% posee tamaños mayores de 12 há.

La dominancia de fragmentos sugiere un efecto borde importante que se manifestaría en cambios microclimáticos y la colonización y establecimiento exitoso del pino insigne al interior de los fragmentos. Si a esto agregamos la deforestación que aún continúa a una tasa estimada de 47,3 há/año[1]", el bosque de ruil y toda la biodiversidad que este tipo forestal contiene,

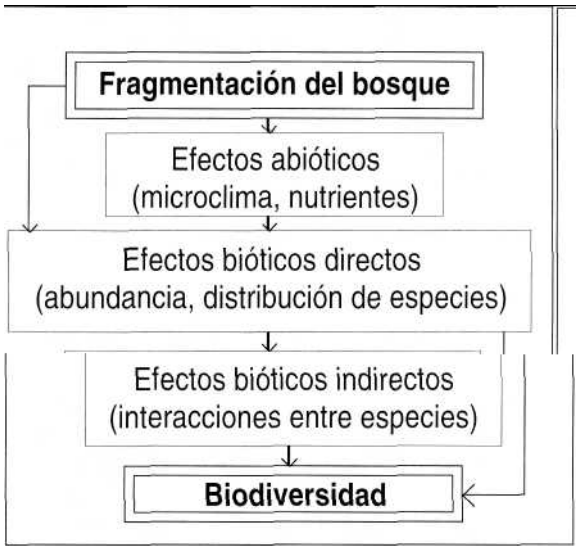


Figura 2. Efectos ecológicos de la fragmentación de bosques. Se enfatizan efectos sobre condiciones microclimáticas de los fragmentos, efectos sobre la abundancia de algunas especies y efectos sobre interacciones biológicas. Todos estos efectos van a afectar en última instancia la biodiversidad existente en los bosques.

desaparecerá inevitablemente en menos de 10 años.

El bosque valdiviano de Chiloé

La isla de Chiloé aún posee extensiones de bosque valdiviano, caracterizado por árboles emergentes de coigüe *(Nothofagus dombeyi)* y un dosel estructurado por coigües más jóvenes, canelos *(Drimys winteri),* tineo *(Weinnmania sp.)* y diversas especies de mirtáceas *(Myrtaceae).*

Se han realizado algunos estudios iniciales para evaluar los efectos del tamaño de los fragmentos sobre la diversidad de especies de aves asociadas a estos bosques[31]. Estos organismos presentan un alto grado de endemismo[32] y algunos de ellos proveen «servicios» fundamentales para la regeneración del bosque, tales como polinización y dispersión de semillas (aves mutualistas). Lo que se ha encontrado en estos estudios es que la diversidad y abundancia relativa de aves decrece a medida que el tamaño del fragmento disminuye. Las especies endémicas a este tipo de bosque son las más afectadas y, en menor grado, las aves mutualistas.

La pérdida de estas especies es grave por lo que significa la desaparición de los hábitats de especies únicas y restringidas geográficamente, así como por las probables consecuencias negativas que esto puede traer para la regeneración del bosque[33].

Diseños ecológicos para minimizar los efectos de la fragmentación

Actualmente, existe consenso en que la fragmentación del bosque nativo tiene indudables efectos negativos sobre la biodiversidad. Desgraciadamente, éste es un proceso que avanza rápidamente en bosques templados y tropicales, tal como se vio en los casos de Costa Rica y Chile.

¿Es posible minimizar o bien revertir los efectos negativos de esta perturbación de origen humano?

Más allá de su valor económico, los bosques nativos poseen un valor agregado intrínseco que los hace más valiosos aún. Los bosques son ecosistemas muy complejos que incluyen una gran diversidad de organismos (aves, insectos, epífitas). Estos organismos establecen relaciones entre sí y con las plantas y, en muchos casos, proveen «servicios» que aseguran la regeneración de muchas especies de árboles.

Además, los bosques constituyen los únicos hábitats para muchos organismos actualmente con graves problemas de conservación y que, como se ha visto, pueden ser negativamente afectados por la fragmentación. Desde esta perspectiva, quienes manejan los bosques nativos chilenos y toman decisiones acerca de su uso, deberían considerar esta complejidad y desarrollar tecnologías de manejo que minimicen la fragmentación[34].

Al respecto, es necesario realizar más investigación básica para mejorar el conocimiento de los bosques nativos chilenos y de su proceso de fragmentación. Esta investigación debiera estar focalizada ya sea sobre especies o sobre procesos «claves» para el funcionamiento del bosque. Algunas temáticas a investigar podrían ser, entre otras, el rol de los herbívoros en la estructura del bosque, el rol de los dispersores y polinizadores en la regeneración del bosque, los factores que restringen los procesos de descomposición y utilización de nutrientes en las plantas.

Es claro que la manipulación experimental para estudiar la fragmentación en bosques nativos es casi imposible, por razones logísticas y éticas. Sin embargo, estudios de fragmentación en ecosistemas más «manejables» (tales como praderas o agroecosistemas)[35], en que se manipulen activamente algunos atributos de los fragmentos a la vez que se evalúe su efecto sobre organismos o interacciones biológicas, pueden servir como modelos para entender lo que podría estar ocurriendo en los bosques nativos a una escala mayor.

Desgraciadamente, la situación de los bosques en nuestro país no permite esperar para obtener esta nueva información básica. Es necesario avanzar ahora en planes de restauración de los bosques chilenos fragmentados, utilizando el conocimiento que se ha obtenido en otros bosques del mundo. Estos planes deberían incluir iniciativas que permitan:

- Minimizar los efectos borde, plantando especies nativas de rápido crecimiento alrededor de los fragmentos, de modo de disminuir la influencia de la matriz sobre los fragmentos. Estas especies deben poseer características biológicas que impidan su colonización natural hacia el interior de los fragmentos.
- Aumentar la conectividad entre fragmentos, a través de planes masivos de reforestación con especies nativas.
- Proteger los corredores de vegetación nativa aún existentes en el paisaje (por ejemplo, la vegetación a orillas de ríos), para facilitar el movimiento de organismos entre fragmentos.
- Proteger los árboles aislados remanentes del bosque original existentes aún en la matriz, o bien plantar árboles de rápido crecimiento, para generar focos de concentración de semillas y focos de reclutamiento de plantas nativas dentro de la matriz.

El estudio de los procesos de fragmentación de habitat puede proporcionar valiosa información para evaluar impactos sobre la flora y fauna de proyectos de inversión que introduzcan fragmentación en el paisaje. Conociendo la forma en que estas alteraciones afectan la dinámica poblacional de las especies comprometidas, es posible desarrollar diseños ecológicos que permitan minimizar los costos ambientales de las actividades humanas que originan efectos de fragmentación.

En el caso particular de los bosques nativos, esta es una tarea urgente debido al activo proceso de fragmentación actualmente en curso. Detener y revertir esta degradación del bosque nativo chileno, así como sus consecuencias sobre la biodiversidad allí presente, es una tarea a la que la ecología puede contribuir. Las investigaciones sobre fragmentación de bosques y el diseño de soluciones ecológicas que de ahí pueden derivarse, son una vía importante para canalizar esa contribución.

Agradecimientos:
Se agradece el financiamiento parcial otorgado para la elaboración de las ideas de este artículo al Programa Bosque Nativo. D.T.I., Universidad de Chile.

Notas y referencias bibliográficas

(1) **Forman R.T.T.** & **M. Godron.1986.** Landscape ecology. John Wiley. New York.

(2) **Myers N.** 1988. Tropical forests and their species. Going. going...,? En: **E.O. Wilson** (ed.) *Biodiversity.* 28-35. National Academic Press.

(3) **Simberloff D.** 1992. Do species-area curves predict extinction in fragmented forests? En: T.C. WhitmorS J.A. Sayers (eds.) *Tropical deforestation and species extinction:* 75-89. Chapman & Hall, London.

(4) **World Conservation Monitoring** Center.1992. Global biodiversity: status of the earth's living resources. Chapman & Hall, London.

(5) **Armesto J., C. Villagrán** & **C. Donoso.1994.** La historia del bosque templado chileno. *Ambiente y Desarrollo* Vol X-N^{Q}1: 66-72.

(6) Cambios en las condiciones bióticas: se refiere a modifica - ciones en la composición y abundancia de especies o bien en las interacciones biológicas en las cuales participan estas especies, como consecuencia de la fragmentación.

(7) Cambios en las condiciones abióticas: se refiere a modificaciones de variables físicas tales como la temperatura del aire, humedad del suelo y luminosidad, como consecuen - cia de la fragmentación.

(8) **Wales B.A.** 1972. Vegetation analysis of North and South edges in a mature oakhickory forest. Ecological Monographs 42: 451-471.

(9) Ámbito de hogar: es el espacio físico que ocupa un animal para realizar todas sus actividades, tales como alimentarse, dormir, reproducirse.

(10) **Meffe G.K. & C.R. Carroll.** 1994. Principies of conservation biology. Sinauer, Sunderland, Massachusetts.

(11) **Lovejoy T.E., R.O. Birregaard, A.B. Rylands, J.R. Malcolm, CE. Quíntela, L.H. Harper, K.S. Brown, A.H. Powell H.O.R. Schubart** & **M.B. Hays.1986.** Edge and other effects on isolation on amazon forest fragments. En: **M.E. Soulé** (ed.) *Conservation Biology.* The science of scarcity and diversity: 257-285. Sinauer, Sunderland, Massachusetts.

(12) **Kapos V.** 1989. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. Journal of Tropical Ecology 5: 173-185.

(13) **Murcia** C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. Trends in Ecology and Evolution 10:58-62.

(14) **Klein** B.C. 1989. Effect of forest fragmenta tion on dung and carrion beetle commu nities in central Amazonia. Ecol ogy 70: 1715-1725.

(15) Gilpin M.E. & M.E. Soulé.1986. Mi nimum populations: processes of species extinction. En: **M.E. Soulé** (ed.) Conservation Biology. The science of scarcity and diversity: 19-34. Sinauer, sund erland. Massachusetts.

(16) **Allendorf F.W. & R.F. Leary** 1986. Heterocigocity and fitness in natural populations of anima ls. En: **M.E. Soulé** (ed.) Conservation Biology. The science of scarcity and diversity: 19-34. Sinauer, sunderland, Massachusetts.

(17) **William-Linera G.** 1990. Vegetation structure and environmental conditions of forests edges. Journal of Ecology 78: 356-373.

(18) **Bawa** K.S. 1990. Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. Annual Review of Ecology and Systematics 21: 399-342.

(19) **Jennersten** 0.1988. Pollination in Dianthus deltoides (Caryophyllaceae): effects of habitat fragmentaron on visitation and seed set. Conservation Biology 2: 359 -366.

(20) **Aizen M.A.** & **P. Feinsinger.1994a..** Habitat fragmentation, native insect pollinators, and feral honey bees in Argentine «Chaco Serrano». Ecological Applications 4: 478 -392.

(21) **Aizen M.A. & P. Feinsinger.** 1994b. Forest fragmentation, pollination, and plant reproduction in a Chaco dry forest. Argentina Ecology 75: 330 -351.

(22) **Patón P.W.C.** 1994. The effect of edge on avia n nest success: how strong is the evidence?. Conservation Biology 8: 17-26.

(23) **Leigh E.G., S.J. Wright, E.A. Herrera** & **F.E. Putz.1993.** The decline of tree diversity on newly isolated tropical islands: a test of a new hypothesis and some implications. Evolutionary Ecology 7: 76-102.

(24) **Dirzo R.& a. Miranda.**1991. Altered patte rns of herbivory and diversity in the forest understory: a case study of the possible consequences of contemporary defaunation. En: **P.W. Price, T.M. Lewinsohn, G.W. Fernandes & W.W. Benson** (eds.). Plant-animal interactions: evolutionary ecology ín tropical and températe regions: pp 273 -287, Wiley, New York.

(25) Veáse nota 12.

(26) Véase nota 11.

(27) **San Martín J. & C. Donoso.** 1995. Estructura florística del bosque maulino de Chile. En: **Armesto J.J., M.K. Arroyo** & **C. Villagrán.** *Ecología del bosque templado de Chile.* Editorial Universitaria (en prensa).

(28) **San Martín J., H. Figueroa & C. Ramírez** 1984 Fitosociología de los bosque s de mil (Nothofagus alessandri Espinoza) en Chile Central. *Revista Chilena de Histori a Natural* 57: 171-200.

(29) **Donoso C. & E. Landaeta** 1983. Nothofagus alessandri a threatened chilean tree species. Environmental Conservation 10: 159-162.

(30) **Bustamante R.O., R.M. Serrano & P.M. León.**1995. The fragmentation of mil forests *(Nothofagus alessandri; Fagaceae)* in Central Chile (en prep.).

(31) **Willson M., T.I. De Santo, C. Sabag & J.J. Armesto** (1994). Avian communities of fragmented south -temperate rainforests in Chile. *Conservation Biology* 8: 508-520.

(32) Endemismo: propiedad de una especie de poseer una distribución geográfica restringida.

(33) Véase nota 29.

(34) **Armesto J.J.** & **C. Smith-Ramírez.1994.** Criterios ecológicos para el manejo del bosque nativo. *Ambiente y Desarrollo,* Vol X-N^{9}3: 64-71.

(35) **Grez** A.A. 1995. Effect of habitat subdivisi on on the population dynamics of herbivorous and predatory insects. Oecologia (en revisión).