

Impactos del castor sobre los servicios ecosistémicos de Tierra del Fuego, Patagonia.

L. Orellana-Marchant* y L. E. Delgado

Laboratorio de Modelación Ecológica, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Las Palmeras 3425, Ñuñoa, Santiago.
Fundación Centro Transdisciplinario de Estudios FES-Sistémicos. Padre Mariano 391, Oficina 704, Ñuñoa, Santiago, Chile.

* Autor de correspondencia: lesly.orellana@gmail.com

RESUMEN

Castor canadensis (Kuhl) es una especie invasora en Chile y Argentina que ha alcanzado una amplia distribución en el archipiélago de Tierra del Fuego. Se ha estimado a la fecha que alrededor de 10.600 ha de bosque nativo han sido deterioradas, impactando otros subsistemas como turberas, praderas y cursos de agua. El objetivo de este trabajo fue realizar una primera aproximación para determinar espacialmente los subsistemas, procesos y servicios ecosistémicos afectados por los castores en la zona chilena de Tierra del Fuego. Los resultados muestran que los subsistemas más deteriorados son las praderas y los bosques nativos y los servicios ecosistémicos más alterados son aquellos asociados a los procesos de regulación como, drenaje e irrigación natural del suelo, afectando a los cursos de agua dulce. La introducción de especies invasoras son uno de los problemas más importantes que afectan los ecosistemas y sus impactos raramente se estudian a nivel sistémico. Este trabajo utiliza una aproximación ecosistémica, modelos conceptuales y sistemas de información geográfica, lo que genera un análisis integral de los efectos adversos que esta especie invasora está produciendo en Tierra del Fuego.

Palabras clave: *Castor canadensis*, servicios ecosistémicos, Tierra del Fuego, bosques nativos, modelo conceptual.

ABSTRACT

Castor canadensis (Kuhl) is an invader species affecting the south of Chile and Argentina, with an ample distribution in the Tierra del Fuego archipelago. Estimates show that 10600 ha of native forest have been deteriorated, impacting other subsystems such as rivers, prairies and peats. The aim of this work was to conduct a first approach to determine spatially the subsystems, processes and ecosystem services affected by beavers in the Chilean zone of Tierra del Fuego. Results show that prairies and forests are the most affected subsystems; altering regulating services associated with drainage and natural soil irrigation, affecting waterways. Invasive species are one of the most important factors affecting ecosystems. This work uses an ecosystem approach combining conceptual modeling and geographic information systems, leading to a more comprehensive analysis of the adverse effects of this invasive species in Tierra del Fuego.

Keywords: *Castor canadensis*, ecosystem services, Tierra del Fuego, native forests, conceptual model.

INTRODUCCIÓN

Las invasiones biológicas figuran en la actualidad como uno de los principales factores que amenazan la biodiversidad a nivel mundial (Mack et al., 2000). De hecho, se considera que después de la destrucción de hábitat y la fragmentación del paisaje, son el problema que más afecta la integridad de los ecosistemas (Williamson, 1996; Mack et al., 2000; Stohlgren et al., 2001; Sykes, 2001).

Un caso de especie invasora en Chile y Argentina corresponde a *Castor canadensis* Kuhl, roedor originario de Canadá que fue introducido el año 1946 por el Ministerio de Marina de Argentina en Tierra del Fuego (Lizarralde et al., 2008), alcanzando una amplia distribución en el archipiélago y

también en la Península Brunswick, extremo más austral del continente americano.

Diversos autores (e.g. Skewes et al., 2006; Arismendi et al., 2008; Baldini et al., 2008; Lizarralde et al., 2008) mencionan que en Tierra del Fuego e isla Navarino se encontraban entre 50.000 – 61.300 castores en el período 2006-2008; en tanto Lizarralde y Venegas (2001) sugieren una abundancia mayor a 100.000 para el año 2001.

Impactos a nivel ecosistémico y de paisaje: *Castor canadensis* es considerado un ingeniero ecosistémico arquetípico, al ser una especie que controla directa o indirectamente la disponibilidad de recursos para sí. Afecta el estado de los componentes abióticos del ecosistema que habita, siendo a la vez una especie clave (Baker y

Hill, 2003; Wallem et al., 2007) ya que influye considerablemente en la composición de las especies y en la estructura de los ecosistemas (Paine, 1969). Dichos efectos son relevantes debido a su abundancia (Power et al., 1996).

Los impactos provocados por el castor se pueden visualizar en todos los niveles de la jerarquía ecológica, desde aquellos basales, como el genético, hasta niveles superiores como el de paisaje (Silva y Saavedra, 2008). A nivel ecosistémico afecta negativamente varias funciones. Por ejemplo, en ecosistemas de agua dulce se observan transformaciones de sistemas lóticos a lénticos, acumulación de material orgánico que modifica la composición química del agua y el sedimento de los estanques. En el caso de ecosistemas terrestres los efectos se relacionan con inundación del hábitat, erosión de riberas, alteración de la composición del suelo y de las zonas ribereñas adyacentes y modificación del ciclo del carbono (Lizarralde et al., 2008). Silva y Saavedra (2008) señalan además efectos en el ciclo de nutrientes, suelo y sedimentación y flujo de agua.

A nivel de paisaje, los castores pueden alterar grandes áreas o ecosistemas al represar los ríos. En Quebec esta especie influye en un 30-50% de la longitud total de los ríos de 2do y 4to orden. Dentro de un área de 298 km² en la Península de Kabetogame, Minnesota, el área total convertida a estanques y praderas, por los castores, incrementó desde un 1% al 13% del paisaje, al aumentar dicha población (Rosell et al., 2005). Además, transforman bosques en praderas u otros ecosistemas inexistentes previos a su llegada (Mann, 2008), así como también disminuyen la cobertura arbórea de la ribera de los cursos de agua.

Las consecuencias generadas por la población de castores no solamente afectan procesos ecosistémicos esenciales (e.g. producción, regulación y culturales), sino que también se traducen en costos económicos para los sectores público y privado, ya que sus diques deterioran caminos y alcantarillados, y desvían los cursos de agua

afectando actividades productivas tales como la ganadería, agricultura y silvicultura, representando pérdidas considerables para dichos sectores (Parkes et al., 2008).

Servicios ecosistémicos: Los ecosistemas, a través de la interacción de sus componentes y procesos, producen funciones que mantienen la vida en el planeta. Éstas, al ser utilizadas por el ser humano, se transforman en servicios que influyen en su bienestar y subsistencia. (Fig. 1).

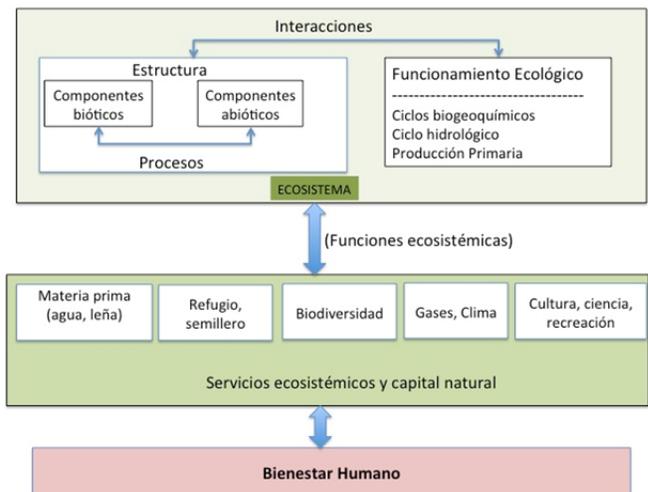


Figura 1. Diagrama conceptual de la generación de funciones y servicios a partir de la interacción entre componentes y procesos ecosistémicos (Modificado de MEA, 2005).

El concepto de servicio ecosistémico, por tanto, hace referencia al vínculo que se establece entre los ecosistemas, sus componentes y procesos, y los beneficios que la sociedad obtiene de ellos (De Groot et al., 2012). Estos autores proponen que estos servicios se pueden clasificar en: servicios de provisión, que incluyen la generación de materias primas esenciales para la sociedad, como alimentos, agua, y plantas medicinales; servicios de regulación, que se relacionan principalmente al mantenimiento del ecosistema; servicios de hábitat, referidos a espacios idóneos para el soporte y mantenimiento de especies y genes que son conservados o que poseen un valor comercial; y servicios culturales, referidos a

los espacios naturales que presentan una estética o historia particular, siendo usados para fines educativos, de reflexión, de recreación y espiritualidad.

Los objetivos de este trabajo fueron: identificar espacialmente los subsistemas y servicios ecosis-

témicos en Tierra del Fuego, así como los procesos ecosistémicos que se han visto alterados por la presencia de castores y representarlos gráficamente a través de un modelo conceptual.

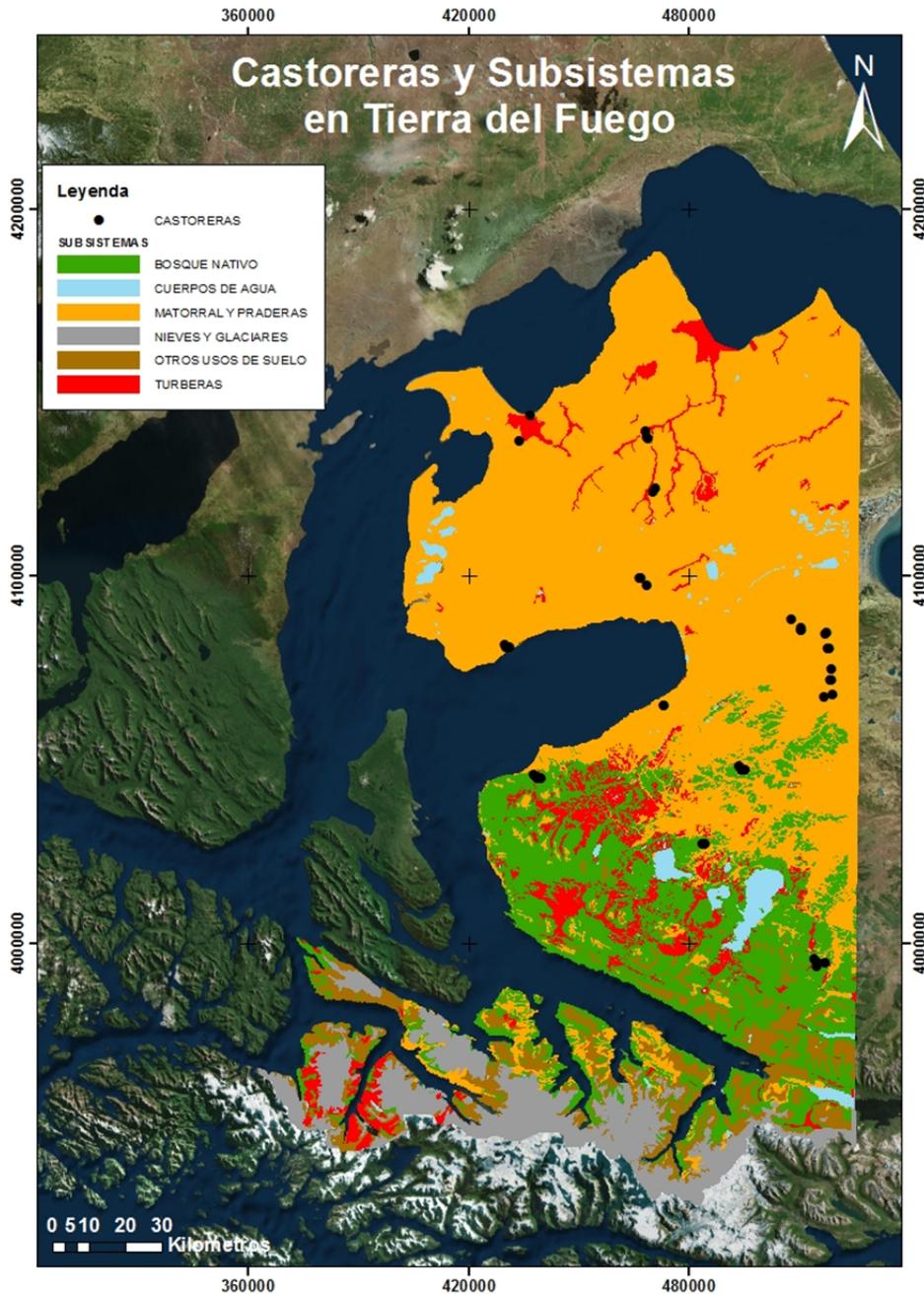


Figura 2. Distribución espacial de los subsistemas ecológicos identificados en la provincia chilena de Tierra del Fuego y ubicación de las castoreras. La extensión y límites geográficos de los subsistemas son aquellos de la base de datos CONAF (2006).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio: El área de estudio correspondió a la zona chilena de Tierra del Fuego (Provincia de Tierra del Fuego, superficie = 22.121,56 km²) perteneciente a la XII Región administrativa de Magallanes y la Antártica Chilena (Fig. 2). Se escogió esta zona por ser representativa del área de distribución del castor, por disponer de información georreferenciada de castoreras y por abarcar diversos subsistemas, como por ejemplo: bosques dominados por *Nothofagus pumilio*, *N. betuloides* y *N. antarctica*, turberas, zona andina, estepa patagónica, matorral y zona costera.

Identificación de subsistemas: La identificación de los subsistemas relevantes para este estudio se realizó a través de un sistema de información geográfica (ArcGIS 9.3), por medio del cual se analizó la información georreferenciada disponible. El suministro de los servicios de los ecosistemas depende de las condiciones biofísicas, de los cambios en el espacio y en el tiempo de la cobertura del suelo, así como de los cambios de condiciones climáticas (Burkhard et al., 2012). La cuantificación concreta y el cartografiado de los servicios de los ecosistemas se consideran entre los principales requerimientos para la implementación del concepto de los servicios de los ecosistemas en las instituciones medioambientales y la toma de decisiones (Burkhard et al., 2012). La cartografía de los subsistemas se basó en datos de uso de suelo de CONAF (2006), los que se agruparon en los siguientes subsistemas: Matorral y Praderas; Bosque Nativo; Glaciares y Nieves; Turberas; Cuerpos de agua. Una vez definidos, se identificaron funciones, procesos y servicios ecosistémicos, según lo propuesto por Delgado et al. (2013) y De Groot et al. (2012).

Ubicación espacial de las castoreras: La ubicación espacial de las castoreras se definió sobre la base de dos fuentes de información. La primera correspondió a un muestreo de distintas localidades de Tierra del Fuego, realizado entre el 27 de Febrero de 2010 y el 02 de Marzo de 2011

(Proyecto FONDAP 1501-0001; Corcoran, datos sin publicar). La segunda correspondió a una planilla de registro de caza de castores realizado en el parque Karukinka, durante el mes de abril del 2012 (datos facilitados por Wildlife Conservation Society). Por medio de estas fuentes se logró generar un mapa con la posición geográfica de 53 castoreras. Para cada castorera se determinó una zona buffer circular de impacto con un radio de 4 Km, las que fueron intersectadas con los subsistemas identificados, utilizando herramientas de Arcgis (corte de coberturas y cálculo de superficies), definiendo de esta forma el área impactada por el castor para cada subsistema.

Cartografía del servicio ecosistémico de drenaje e irrigación: El efecto de los castores sobre el ecosistema de Tierra del Fuego se evaluó por medio del análisis del servicio ecosistémico de drenaje e irrigación natural del suelo. Para ello se usó la metodología descrita en el 'Informe Diagnóstico Ambiental Cuenca del Río Aysén' (LME_UCHILE, 2010). Esta consiste en definir teóricamente por medio de bibliografía (aquella disponible respecto de la zona de estudio, así como artículos sobre servicios ecosistémicos tales como De Groot et al., 2010 y 2012) y opinión de expertos (i.e. los autores de este artículo), la importancia, en una escala de valores de 1 a 10, de los distintos subsistemas (e.g. bosques, praderas, glaciares) en relación al servicio ecosistémico analizado. Donde el valor =1 representa baja importancia del subsistema y un valor = 10 representa máxima importancia. La información generada se cartografió utilizando para ello los subsistemas definidos anteriormente.

Modelo conceptual: Un modelo conceptual de un sistema es una representación esquemática de sus componentes y procesos (interacciones y acoplamientos) supeditados a un conjunto de preguntas específicas (Marín et al., 2015). El objetivo principal, desde la perspectiva de una publicación científica, es mostrar en forma gráfica la visión de los autores sobre el ecosistema

estudiado sobre la base de los resultados obtenidos. Para el caso de estudio descrito en este artículo, generamos un modelo de cajas (del inglés "box model") en el cual se visualizan los subsistemas identificados y los procesos ecosistémicos afectados por la presencia del castor.

RESULTADOS

Subsistemas y servicios ecosistémicos: Según el análisis del catastro de uso de suelo, generado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF, 2006), el paisaje de la provincia de Tierra del Fuego incluye un total de 41 categorías. Nosotros reclasificamos esta información para los propósitos de este estudio en 5 subsistemas, calculando su contribución porcentual respecto de la superficie total analizada: Matorral y Praderas (55,9 %), Bosque Nativo (20,4%), Glaciares y Nieves (8,1%), Turberas (7,5 %), Cuerpos de Agua (2,1%). Su distribución geográfica, así como la ubicación de las castoreras se muestran en la Fig. 2. De las 53 castoreras georreferenciadas, 34 se ubican en el subsistema Matorral y Praderas, 18 en el subsistema Bosques y 1 en el subsistema Turberas. Sobre esta base, hemos estimado que 192.613,4 hectáreas de praderas y matorrales son afectadas por la presencia del castor, seguido de 48.551,09 hectáreas de bosque nativo y 15.839,24 hectáreas de turberas. Aun cuando evaluamos espacialmente los efectos del castor respecto del servicio ecosistémico de drenaje e irrigación del suelo (Fig. 3), también hicimos un análisis teórico de sus efectos potenciales en diversos servicios ecosistémicos de regulación, hábitat y producción (Tabla 1). Los resultados obtenidos permiten proponer que los servicios ecosistémicos más afectados serían: a) drenaje e irrigación natural; b) suministro de agua para uso consuntivo (beber, riego, uso industrial); c) prevención de daños de erosión y sedimentación; y d) mantenimiento de suelos sanos y ecosistemas productivos.

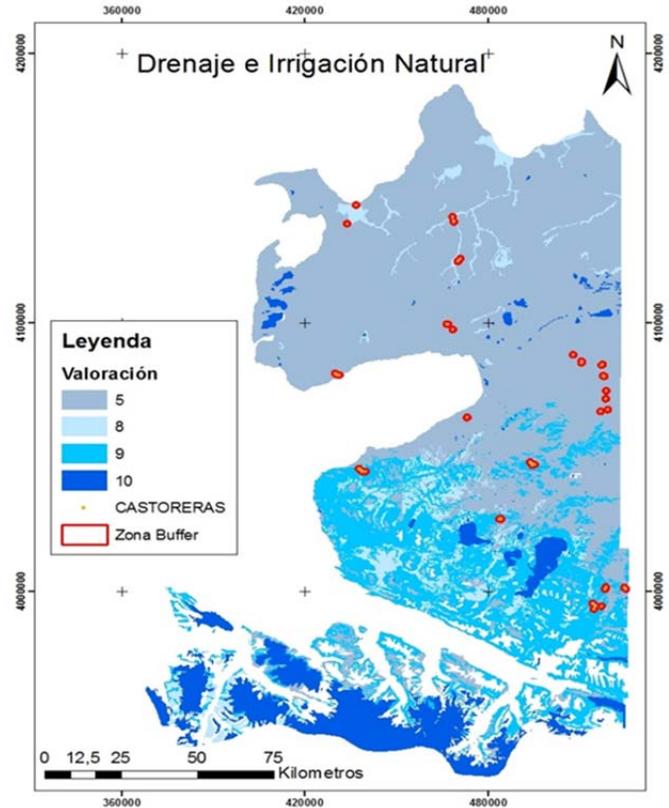


Figura 3. Mapa del proceso ecosistémico: Irrigación y drenaje del agua.

Modelo Conceptual: El modelo conceptual desarrollado permite visualizar de qué manera los cuatro subsistemas identificados (bosque nativo, turberas, matorral-praderas y cuerpos de agua) se ven afectados por la presencia de un agente modificador, el castor, y los principales procesos que intervienen (Fig. 4). Se muestran las interacciones a través de flechas que indican la dirección del cambio y si éste es negativo (-) o positivo (+). En este modelo ejemplificamos la manera en que las actividades para construcción de hábitat (alimentación y refugio) del castor, afectan negativamente el proceso ecosistémico de drenaje e irrigación, disminuyendo la escorrentía y aumentando la sedimentación. Así también, la tala de los bosques y matorrales afectan negativamente la retención del suelo, alterando la estructura del ecosistema (componentes bióticos), y el proceso de germinación de las semillas de especies del

bosque nativo (*N. pumilio*), debido al anegamiento de los suelos, lo cual modifica lentamente la estructura del bosque.

A través del análisis de los procesos ecosistémicos alterados (Fig. 4), hemos identificado que

el proceso más alterado es la sedimentación de sólidos en los cursos de agua, asociado a la pérdida de bosque nativo y a la vegetación ribereña.

Tabla 1. Sistemas identificados, funciones y servicios ecosistémicos. En rojo se destacan las principales funciones ecosistémicas afectadas por el castor.

Funciones Ecosistémicas	Ecosistemas			
	Bosques	Turberas	Matorral y Praderas	Cuerpos de Agua
REGULACIÓN: Mantiene los procesos ecológicos esenciales y sistemas que dan soporte a la vida				
<i>Regulación de Gases</i>	Mantenimiento de la calidad del aire (Disminuyen CO ₂ y liberan O ₂)	Fuente y Sumideros de gases invernadero; influye sobre la temperatura, precipitación y otros elementos climáticos a escala local y regional.	Fotosíntesis (captación de CO ₂ y liberación de O ₂) contribuyen con la mantención de la calidad del aire y la regulación del clima	
<i>Regulación del Clima</i>	Moderación del cambio climático. Regulación de la Temperatura. Aumento de la humedad, reducción de vientos	Moderación del cambio climático, mejorar la calidad del aire		Mantenimiento de la calidad del aire y en la regulación del clima
<i>Prevención de Disturbios</i>	Reducción de riesgos de inundación, erosión y sedimentación.	Prevención de inundaciones y sequías		Prevención de inundaciones
<i>Regulación del Agua</i>	Capacidad de capturar agua y regular su ciclo local (evitar inundaciones y sequías.)	Mantener la calidad del agua ya que funcionan como filtros, Regulación del ciclo hídrico		Regulación del ciclo del agua y su purificación
<i>Suministro de Agua</i>		Agua limpia para consumo humano y regadíos.	Almacenamiento de agua en napas freáticas	Agua limpia para consumo humano y regadíos.
<i>Retención de Suelo</i>	Control de la erosión de los suelos		Control de la erosión de los suelos. Retención del suelo	
<i>Formación de Suelo</i>	Acumulación de Materia Orgánica	Acumulación de Materia Orgánica	Acumulación de Materia Orgánica	
<i>Regulación de Nutrientes</i>	Ciclado de los nutrientes (agua, carbono, nitrógeno, oxígeno y fósforo)	Regulación del ciclo de los nutrientes		Participan en el ciclo de los nutrientes
<i>Tratamiento de Residuos</i>	Rol de la biota en la degradación de xenobióticos	Rol de la biota en la degradación de xenobióticos	Rol de la biota en la degradación de xenobióticos	Rol de la biota en la degradación de xenobióticos
<i>Polinización</i>	Polinización, transporte de gametos.	Transporte de gametos.	Polinización y transporte de gametos.	
<i>Control Biológico</i>	Control de la población a través de relaciones tróficas dinámicas	Control de la población a través de relaciones tróficas dinámicas	Control de la población a través de relaciones tróficas dinámicas	Control de la población a través de relaciones tróficas dinámicas
HÁBITAT: Proporciona hábitats (espacios de vida adecuados) para especies de animales y plantas.				
<i>Refugio</i>	Hábitat para animales, plantas y otros seres vivos	Hábitat para animales, plantas y otros seres vivos	Hábitat para animales, plantas y otros seres vivos	Hábitat para peces y otros seres vivos
<i>Criadero</i>	Hábitat de reproducción para distintas especies	Anidamiento de aves	Hábitat de reproducción para distintas especies	Hábitat de reproducción para distintas especies

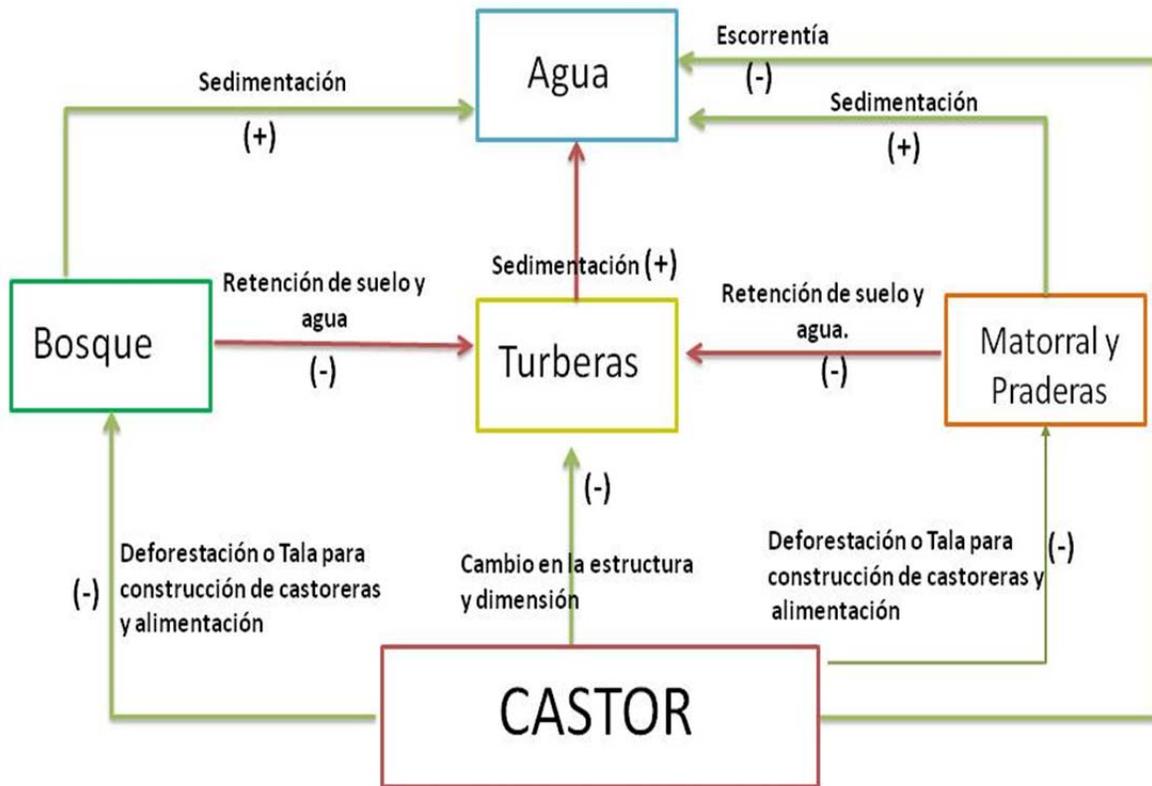


Figura 4. Modelo Conceptual del proceso ecosistémico, drenaje e irrigación natural del agua dulce. Se muestran los subsistemas que interactúan, el castor como agente perturbador y sus efectos

DISCUSIÓN

Subsistemas y servicios ecosistémicos: Martínez Pastur et al. (2006) señalan que los bosques de *Nothofagus* no están adaptados a soportar el impacto del castor en el largo plazo, lo que estaría afectando su estructura ecosistémica debido a su fragilidad y lenta recuperación ante cualquier perturbación (Fesq-Martin et al., 2004). En zonas impactadas de bosques, se observa que los árboles no se regeneran por largos períodos y muchas especies originales del sotobosque se pierden.

Nuestros resultados muestran que el subsistema más afectado por la presencia del castor en la zona de estudio corresponde a Matorrales y Praderas. Si bien, diversos autores mencionan que el castor afecta considerablemente a los bosques (Sielfeld y Venegas, 1980; Mittermeier et al., 2001; Lizarralde et al., 1996; 2004), al no contar con depredadores naturales coloniza nuevos ambientes, lo que podría explicar su distribución actual.

Los matorrales y praderas y el bosque nativo cumplen un rol fundamental en el mantenimiento

de las funciones ecosistémicas. Según Oyarzún et al. (2005) el bosque contribuye al drenaje e irrigación del suelo y a prevenir la erosión; por otro lado, matorrales y praderas contribuyen al almacenamiento de las aguas en napas freáticas y también controlan la erosión y retención de los suelos. El castor afecta principalmente funciones de regulación, como regulación y suministro de agua, retención y formación de suelo y regulación de nutrientes (Tabla 1). Por tanto, los dos subsistemas que más contribuyen al mantenimiento de estos servicios ecosistémicos, son los más afectados por la presencia del castor. La metodología de valoración espacial de los servicios ecosistémicos analizados (Fig. 3) permite su representación gráfica, la que al incorporar la ubicación de las castoreras facilita el análisis de sus efectos potenciales en dicho servicio. Esto representa una herramienta útil para los tomadores de decisiones al momento de definir estrategias para mantener de un proceso ecosistémico determinado en presencia de especies invasoras como el castor.

Modelo conceptual: Los resultados del proceso ecosistémico más alterado, la sedimentación de sólidos en cursos de agua producto de la pérdida de bosque y vegetación ribereña, coinciden con lo propuesto en otros trabajos relacionados a los efectos negativos del castor en ecosistemas naturales (Naiman et al., 1986; Wright et al., 2002; Fesq-Martin et al., 2004). La sedimentación se considera en la actualidad un gatillador (efecto lento) de cambios de estado en ecosistemas de agua dulce, proceso que altera su estructura (Delgado et al., 2014). Para detener el efecto negativo del castor se debe considerar el mantenimiento de bosques en las riberas de ecosistemas de agua dulce, lo que es mundialmente considerado favorable para la "salud" de dichos ecosistemas cumpliendo una importante función ecológica. Según McKergow et al. (2003), la vegetación ribereña puede atrapar nutrientes y sedimentos provenientes de las laderas y reducir la erosión de las riberas fluviales. Dichas comunidades ribereñas, han sido frecuentemente señaladas con un rol de piedra angular en el paisaje, debido a su alta diversidad estructural y composicional (Macdonald et al., 2004). Ello requiere que el problema del castor sea manejado con una perspectiva ecosistémica.

Enfoque ecosistémico para el manejo del castor en Tierra del Fuego: En décadas pasadas el estudio de la conservación de la biodiversidad se centraba en las especies y sus poblaciones (Fontúrbel, 2004); en la actualidad la conservación enfatiza la importancia de los ecosistemas, procesos y funciones para la conservación y el mantenimiento de la calidad de vida de los seres humanos en el planeta tierra (MEA, 2005). Sanguinetti et al. (2014) señala que, a mayor complejidad de manejo, más información se requiere para ejecutarlo exitosamente. Valenzuela (2014) agrega que para generar estrategias de manejo de especies es esencial no solo entender la biología del organismo y sus interacciones con el ecosistema invadido, sino también realizar investigación aplicada. Chile ha optado históricamente por una estrategia de prevención y control en lugar de la erradicación en la gestión de especies invasoras (Jaksic y Yañez, 1983; Saíz y Ojeda, 1988; Skewes et al., 1999), considerando un enfoque de trabajo a nivel de especies y poblaciones. Sin embargo, existen diferentes opciones para el manejo de las

especies exóticas invasoras: prevención, detección temprana, erradicación, control, exclusión e incluso la "no acción" (Parkes et al., 2008).

Nosotros proponemos, para el caso del castor en Tierra del Fuego, adoptar un enfoque ecosistémico, que es crucial para avanzar en escenarios de manejo complejos. En esta aproximación se conjugan el uso de múltiples herramientas, como los sistemas de información geográfica para el análisis espacial, el modelado ecológico para fortalecer el conocimiento de la dinámica poblacional y el modelado conceptual para visualizar iconográficamente los efectos de una especie invasora sobre los ecosistemas naturales. Además, a esto se le suman los mecanismos recientes de identificación de funciones y servicios que brindan los ecosistemas para trabajar en escalas de análisis que sean útiles para la toma de decisiones (De Groot et al., 2012; Cerda, 2011).

Estas herramientas permiten identificar los servicios ecosistémicos que se ven modificados por las decisiones que las sociedades toman acerca de su manejo (Balvanera, 2012). Si bien los ecosistemas son socialmente valiosos, a veces tal condición no es evidente para sus beneficiarios (Delgado et al., 2013). Sin embargo, como afirman De Groot et al. (2010): "La información empírica sobre la relación cuantitativa entre el uso de la tierra y el manejo de los ecosistemas y la provisión de servicios de los ecosistemas a escala local y regional, es todavía escasa..." y pese a que existen autores que mencionan los efectos del castor en los ecosistemas, pocos profundizan el efecto en las funciones y procesos ecosistémicos modificados por esta especie.

En el caso de Chile, el estudio de servicios ecosistémicos ha sido realizado principalmente en base a aquellos provistos por el bosque nativo y cuencas forestadas (e.g. Nahuelhual et al., 2007; Lara et al., 2010; Delgado et al., 2013). También existen en la actualidad algunos centrados en su valoración económica (Figueroa, 2010; De la Barrera et al., 2015). La legislación chilena recientemente incluye el concepto de servicios ecosistémicos en las modificaciones realizadas al Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental (vigente desde el 24/12/2013), donde el Art. 8 referente a Localización y Valor Ambiental del Territorio, indica en su párrafo 6º,

que: "se entenderá que un territorio cuenta con valor ambiental cuando corresponda a un territorio con nula o baja intervención antrópica y provea de servicios ecosistémicos locales relevantes para la población...". No obstante, ésta es la única incorporación explícita de dicho concepto en la legislación vigente. Sin embargo, podría ser de gran ayuda para el aumento de investigación con enfoque ecosistémicos.

Por lo tanto, robustecer los mecanismos para la identificación de servicios que brindan los ecosistemas y trabajar en escalas de análisis que sean útiles para la toma de decisiones (Cerdea, 2011) cobra relevancia en Tierra del Fuego, la cual ha sido identificada como una de las 37 ecorregiones más prístinas del mundo, siendo una de las pocas áreas a nivel mundial donde se conservan bosques templados no fragmentados o alterados (Rozzi et al. 2002) y que se ve seriamente afectada por la presencia del castor.

CONCLUSIONES

Los ecosistemas de Tierra del Fuego ofrecen servicios ecosistémicos que se ven seriamente afectados por la presencia de especies invasoras, como es el caso del castor. Sin embargo, no existe conocimiento acerca de los procesos y funciones afectados por especies invasoras en el área de estudio. El significado de los impactos del castor sobre ecosistemas de importancia global y la amenaza que esta invasión representa a la conservación de la biodiversidad y de los ecosistemas patagónicos, han movilizado a los gobiernos de Chile y Argentina a trabajar en la búsqueda de soluciones regionales. Sin embargo, los planes de manejo implementados para las especies invasoras comúnmente se centran en un enfoque a nivel de especies y poblaciones. Nosotros proponemos trabajar el problema con un enfoque ecosistémico con la finalidad de proteger los ecosistemas y los servicios que ellos otorgan.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la entrega de datos por el Proyecto FONDAP 1501-0001 y Wildlife Conservation Society (WCS).

BIBLIOGRAFÍA

Arismendi, I., P. Szejner, A. Lara, M.E. González. 2008. Impacto del castor en la estructura de

Bosques ribereños de *Nothofagus pumilio* en Tierra del Fuego, Chile. *Bosque* 29(2):146-154.

Baker, B.W., E.P. Hill. 2003. Beaver (*Castor canadensis*). En: Feldhamer, G.A., B.C. Thompson, J.A. Chapman (editors) *Wild Mammals of North America: Biology, Management, and Conservation*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, USA. Pp. 288-310

Baldini, A., J. Oltrmari, M. Ramirez. 2008. Impacto del castor (*Castor canadensis*, Rodentia) en bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*) de Tierra del Fuego, Chile. *Bosque* 29(2):162-169.

Balvanera, P. 2012. Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas* 21(1-2):136-147.

Burkhard B, F. Kroll, S. Nedkov, F. Müller. 2012. Mapping ecosystem service supply, demand, and budgets. *Ecological Indicators* 21:17-29.

Cerdea, C. 2011. Disposición a Pagar para proteger Servicios Ambientales: Un estudio de Caso con Valores de uso y de no uso en Chile Central. *INTERCIENCIA* 36(11):796:802.

Corporación Nacional Forestal CONAF. 2006. Catastro de Uso del Suelo y Vegetación. Región de Magallanes y la Antártica chilena.

De Groot, R.S., L. Brander, S. van der Ploeg, R. Constanza, F. Bernard, L. Braat, M. Christie, N. Crossman, A. Ghermandi, L. Hein, S. Hussain, P. Kumar, A. McVittie, R. Portela, L. Rodriguez, P. ten Brink, P. van Beukering. 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services* 1:50-61.

De Groot, R.S., R. Alkemade, L. Braat, L. Hein, L. Willemen. 2010 Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity* 7:260-272.

De la Barrera, F., P. Bachamann-Vargas, A. Tironi. 2015. La investigación de servicios ecosistémicos en Chile: una revisión sistemática. *Investigaciones Geográficas* 50:3-18.

Delgado, L.E., M.B. Sepúlveda, V.H. Marín. 2013. Provision of ecosystem services by the Aysén watershed, Chilean Patagonia, to rural households. *Ecosystem Services* 5:102-109.

Delgado, L.E., A. Tironi, I. Vila, G. Verardi, C. Ibañez, B. Agüero, V.H. Marín. 2014. El Humedal del Río Cruces, Valdivia, Chile: una síntesis ecosistémica. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 42(5):937-949.

- Fesq-Martin, M., A. Friedmann, M. Peters, J. Behrmann, R. Killian. 2004. Late-glacial and Holocene vegetation history of the Magellanic rain forest in southwestern Patagonia, Chile. *Vegetation History & Archaeobotany* 13:249-255.
- Figueroa, E. (editor) 2010. Valoración económica detallada de las áreas protegidas de Chile. Proyecto GEF-MMA-PNUD "Creación de un Sistema Nacional Integral de Áreas Protegidas para Chile: Estructura Financiera y Operacional".
- Fontúrbel, F. 2004. Conservación de ecosistemas: un nuevo paradigma en la conservación de biodiversidad. *Ciencia abierta* 23:18.
- Jaksic, F.M., J.L. Yanez. 1983. Rabbit and fox introductions in Tierra del Fuego: history and assessment of the attempts at biological control of the rabbit infestation. *Biological Conservation* 26:367-374.
- Lara, A., R. Urrutia, C. Little, A. Martínez. 2010. Servicios ecosistémicos y Ley del bosque nativo: no basta con definirlos. *Revista Bosque Nativo* 47:3-9.
- LME_UCHILE. 2010. Diagnóstico Ambiental Cuenca del río Aysén y Sector Costero Adyacente. Laboratorio de Modelación Ecológica, Depto. De Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 270 pp.
- Lizarralde, M.S., C. Venegas. 2001. El castor: un ingeniero exótico en las tierras más australes del planeta. En: Primack, R., R. Rozzi, P. Feinsinger, R. Dirzo, F. Massardo. *Fundamentos de Conservación Biológica: Perspectivas Latinoamericanas*. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México. Pp. 231-232.
- Lizarralde, M., G. Deferrari, S. Alvarez, J. Escobar. 1996. Effects of beaver (*Castor canadensis*) on the nutrient dynamics of the Southern Beech forest of Tierra del Fuego. *Ecología Austral*. 6:101-105.
- Lizarralde, M., J. Escobar, G. Deferrari. 2004. Invader species in Argentina: A review about the beavers (*Castor canadensis*) population situation on Tierra del Fuego ecosystem. *Interciencia* 29:352-356.
- Lizarralde, M.C., J. Escobar, G. Deferrari, M. Fasanella. 2008. El castor austral. *Investigación y Ciencia* 379:58-64.
- Marín, V.H., L.E. Delgado, A. Tironi. 2015. Capítulo 16: Transdisciplina, sistemas y ecosistemas. En: Montecino, V., J. Orlando (editores) *Ciencias ecológicas 1983-2013: treinta años de investigaciones chilenas*. Editorial Universitaria.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*. Report of the Conceptual Framework Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington.
- Mittermeier, R., C. Mittermeier, P. Robles-Gil, J. Pilgrim, G. Fonseca, J. Brooks, J. Konstant. 2001. *Wilderness: Earth's last wild places*. Conservation International, Washington DC, US.
- Macdonald, E., C. Burgess, G. Scrimgeour, S. Boutin, S. Reedyk, B. Kotak. 2004. Should riparian buffers be part of forest management based on emulation of natural disturbance? *Forest Ecology and Management* 187:185-196.
- Mack, R.N., D. Simberloff, W.M. Lonsdale, H. Evans, M. Clout, F.A. Bazzaz. 2000. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences and control. *Ecological Applications* 10:689-710.
- McKergow, L., D. Weaver, I. Prosser, R. Grayson, A. Reed. 2003. Before and after riparian management: sediment and nutrient exports from a small agricultural catchment, Western Australia. *Journal of Hydrology* 270:253-272.
- Mann, A. 2008. Vertebrados dañinos en Chile: desafíos y perspectivas. Actas del seminario taller. 8 de enero de 2008. Santiago, Chile. Universidad Santo Tomás.
- Martínez Pastur, G., M.V. Lencinas, J. Escobar, P. Quiroga, L. Malmierca, M. Lizarralde. 2006. Understory succession in *Nothofagus* forests in Tierra del Fuego (Argentina) affected by *Castor canadensis*. *Applied Vegetation Science* 9:143-154.
- Nahuelhual, L., P. Donoso, A. Lara, D. Núñez, C. Oyarzún, E. Neira. 2007. Valuing ecosystem services of Chilean temperate rainforests. *Environment, Development and Sustainability* 9:481-499.
- Naiman, R.J., J.M. Melillo, J.E. Hobbie. 1986. Ecosystem alteration of boreal forest streams by beaver (*Castor canadensis*). *Ecology* 67:1254-1269.
- Oyarzún, C.E., L. Nahuelhual, D. Núñez. 2005. Los servicios ecosistémicos del bosque templado lluvioso: producción de agua y su valoración económica. *Revista Ambiente y Desarrollo* 20(3)-21(1):88-95.
- Paine, R.T. 1969. A note on trophic complexity and community stability. *American Naturalist* 103:91-93.
- Parkes, J.P., J. Paulson, C.J. Donlan, K. Campbell. 2008. Control of North American beavers in Tierra del Fuego: Feasibility of eradication and

- alternative options. Informe preparado para el Comité Binacional para la Estrategia de Erradicación de Castores de Patagonia Austral.
- Power, M.E., D. Tilman, J.A. Estes, B.A. Menge, W.J. Bond, L.S. Mills, D. Gretchen, J.C. Castilla, J. Lubchenco, R.T. Paine. 1996. Challenges in the quest for keystones. *BioScience*. 46:609-620.
- Rosell, F., O. Bozsér, P. Collen, H. Parker. 2005. Ecological impact of beavers *Castor fiber* and *Castor canadensis* and their ability to modify ecosystems. *Mammal Review* 35:1-29.
- Rozzi, R., F. Massardo, C. Anderson. 2002. La Reserva de Biosfera Cabo de Hornos. Una propuesta de Conservación y Turismo para el Desarrollo Sustentable en el Extremo Austral de América. Edición bilingüe español-inglés. Ediciones Universidad de Magallanes. Punta Arenas. Chile.
- Saíz, F., P. Ojeda. 1988. *Oryctolagus cuniculus* L. en Juan Fernández. Problema y control. *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso (Chile)* 19:91-98.
- Sanguinetti, J., L. Buria, L. Malmierca, A.E.J. Valenzuela, C. Núñez, H. Pastore, L. Chauchard, N. Ferreyra, G. Massaccesi, E. Gallo, C. Chehébar. 2014. Manejo de especies exóticas invasoras en Patagonia, Argentina: Priorización, logros y desafíos de integración entre ciencia y gestión identificados desde la Administración de Parques Nacionales. Sección Especial - Invasiones Biológicas en Patagonia. *Ecología Austral* 24:183-192.
- Sielfeld, W., C. Venegas. 1980. Poblamiento e impacto ambiental de *Castor canadensis* Kuhl, en Isla Navarino, Chile. *Anales del Instituto de la Patagonia* 11:247-257.
- Silva, C.A., B. Saavedra. 2008. Knowing for controlling: ecological effects of invasive vertebrates in Tierra del Fuego. *Revista Chilena de Historia Natural* 81:123-136.
- Skewes, O., F. González, L. Rubilar, M. Quezada, R. Olave, V. Vargas, A. Ávila. 1999. Investigación, aprovechamiento y Control del Castor (*Castor canadensis*) en las islas Tierra del Fuego y Navarino. Informe Final. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) XII Regional, Magallanes y Antártica Chilena.
- Skewes, O., F. Gonzalez, R. Olave, A. Ávila, V. Vargas, P. Paulsen, H.E. König. 2006. Abundance and distribution of American beaver, *Castor canadensis* (Kuhl, 1820), in Tierra del Fuego and Navarino Islands, Chile. *European Journal of Wildland Restoration* 52:292-296
- Stohlgren, T.J., Y. Otsuki, C.A. Villa, M. Lee, J. Belnap. 2001. Patterns of plant invasions: A case example in native species hotspots and rare habitats. *Biological Invasions* 3(1):37-50.
- Sykes, MT. 2001. Modelling the potential distribution and community dynamics of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. ex. Loud.) in Scandinavia. *Forest Ecology and Management* 141:69-84.
- Valenzuela, A. 2014. Sección especial: Invasiones Biológicas en la Patagonia. *Ecología Austral* 24:133-134.
- Wallem, P.K., C.G. Jones, P.A. Marquet, F.M. Jaksic. 2007. Identificación de los mecanismos subyacentes a la invasión de *Castor canadensis* (Rodentia) en el archipiélago de Tierra del Fuego, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 80:309-325.
- Williamson, M.H. 1996. *Biological invasions*. Chapman and Hall, London.
- Wright, J.P., C.G. Jones, A.S. Flecker. 2002. An ecosystem engineer, the beaver, increases species richness at the landscape scale. *Oecologia* 132:96-101.