

Bosques ribereños y su relación con regímenes hidrológicos en el norte patagónico

Leonardo Ariel Datri¹, Rafael Maddio¹, Ana María Faggi², Leonardo Ariel Gallo³

¹Laboratorio de Investigaciones Ecológicas Norpatagónicas (LIEN), Universidad Nacional del Comahue).
²Museo Argentino de Ciencias Naturales B. Rivadavia – CONICET. ³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). *Autor de correspondencia: leodatri@gmail.com.

RESUMEN

Las planicies de inundación de los ríos norpatagónicos, experimentan procesos de cambio y configuración de neo-ecosistemas riparios con bosques de salicáceas exóticas. El objetivo de este trabajo es relacionar parches de vegetación con procesos geomorfológicos asociados a los regímenes hidrológicos de los tramos inferiores de los ríos Limay y Azul. El desarrollo de parches de bosques riparios fue analizado con series temporales de fotografías aéreas. En campo se caracterizó la geomorfología, el suelo superficial y la vegetación. La edad de cada parche fue estimada mediante el uso de técnicas de dendro-geomorfología y curvas de crecimiento de especies riparias leñosas. Se estimaron las variaciones interanuales de los ríos y la recurrencia de eventos de disturbios intensos. Una vez sincronizados los eventos hidrológicos con los parches de vegetación riparia, se analizaron las diferencias en la distribución de la vegetación de ribera considerando los períodos de crecidas y sequías. En el río Limay fue identificada una sucesión boscosa, compuesta por *Salix alba* en una etapa inicial y por *S. alba*, *Populus nigra* y *P. deltoides*, en una posterior, asociada a un período seco coincidente con el ingreso en operaciones del conjunto de represas del complejo hidroeléctrico. En el río Azul fueron identificadas cuatro series sucesionales boscosas. Una inicial compuesta por bosquetes aislados de plantas no riparias de *Nothofagus dombeyi* y *Maytenus boaria*; riparias de ambientes lénticos de *Myrceugenia exsucca* y una posterior dirigida por *S. fragilis* sobre el lecho fluvial con dos secuencias paralelas de *S. fragilis* asociadas a vegetación nativa de albardones y planicies u otra cerrada de *S. fragilis* y *Rubus ulmifolia* de ambientes inestables. Como la composición de las especies en la zona activa es afectada por la zonación y la sucesión, dependiendo de las fluctuaciones del régimen hídrico y las plantas invasoras, se recomienda el manejo de parches de salicáceas exóticas y el mantenimiento del régimen de disturbios introducidos por crecidas en ríos regulados, como mecanismo de control.

Palabras clave: Bosques riparios, salicáceas, planicie de inundación, río Limay, río Azul, sucesión vegetal, dendro-geomorfología, Patagonia.

ABSTRACT

The flood plains of North Patagonian rivers, experience change and configuration processes of neo-ecosystems with forest riparian exotic Salicaceae. The objective of this work is to link vegetation patches to geomorphic processes related to hydrological regimes in the lower reaches of the rivers Limay and Azul. The development of riparian forest patches was analysed with time series of aerial photographs. In field geomorphology, soil surface and vegetation was characterized. The age of each patch was estimated using dendro-geomorphology techniques and growth curves of the riparian woody species. Inter-annual variations were estimated from rivers and recurrence of intense disturbance events. Once the hydrological events were synchronized with the riparian vegetation patches, the differences in the distribution of riparian vegetation considering the flood and drought periods were analysed. In the Limay river we identified a number of forest succession, composed of *Salix alba* at an early stage and by *S. alba*, *Populus nigra* and *P. deltoides*, in a subsequent dry period. This was associated with the start of the hydroelectric dam activities. In the Azul river four forest successional stages were identified: (1) not native riparian plants *Nothofagus dombeyi* and *Maytenus boaria*, (2) native riparian plants lentic environments *Myrceugenia exsucca*, (3) *S. fragilis* associated with native vegetation, and (4) plains of *S. fragilis* and *Rubus ulmifolia* in unstable environments. As the composition of species in the active zone is affected by the zonation and succession, depending on fluctuations in hydrological regime and invasive plants, it is recommended patch management and maintenance exotic Salicaceae the disturbance regime introduced by floods in regulated rivers, as a control mechanism.

Key words: Riparian forests, Salicaceae, floodplain, Limay river, Azul river, plant succession, dendro-geomorphology, Patagonia.

INTRODUCCIÓN

El análisis de las fluctuaciones de los regímenes hidrológicos como la frecuencia

de eventos extremos de crecidas puede realizarse combinando una serie de métodos geológicos, geomorfológicos,

históricos e hidrológicos (Díez-Herrero et al., 2008). La aplicación de técnicas dendro-geomorfológicas en las cuencas de tipos torrenciales, montañas y de llanuras, permite inferir datos de frecuencia y magnitud de crecidas (Díez-Herrero et al., 2007), en forma complementaria al registro sistemático, facilitando el análisis estadístico y el modelado de procesos de sucesión vegetal. Los bosques riparios permiten la aplicación de estas técnicas al estudiar la respuesta en el patrón de crecimiento y las señales dejadas en los árboles, con el objetivo de datar y evaluar eventos ocurridos en el pasado (Bodoque et al., 2011; Ruiz Villanueva et al., 2010). La estimación de la edad de parches de vegetación leñosa permite sincronizar los registros hidrológicos con cada comunidad seral emergente, asociada a un evento en particular. Las crecidas y el estiaje implican perturbaciones y factores de cambio en la sucesión vegetal de bosques riparios. La correlación entre el origen y la posición geomorfológica de los árboles, expresa información acerca del estado del sistema dentro de la transición de fases establecidas por el ciclo de perturbación y auto-organización.

La complejidad espacio temporal del mosaico es dinámica de acuerdo a la frecuencia e intensidad de cada inundación, según ésta restringe o construye hábitats físicos para distintas comunidades bióticas. Cada comunidad a su vez afecta al curso de agua y define nuevas condiciones para el flujo superficial del río, de acuerdo al estado del proceso. Los árboles expresan el nivel de mayor complejidad del proceso de sucesión vegetal y la estructura del ecosistema queda definida por sus coberturas (Webb y Leake, 2006).

El diseño de modelos de inundación y sus efectos en los ambientes ribereños son relevantes para la gestión del riesgo en áreas urbanas. El desarrollo del modelo Fiume Tagliamento, comprende un sistema de referencia de río en estado natural, para la gestión de los ambientes ribereños de toda Europa. Casi toda la experiencia y el

conocimiento en planicies inundables proviene de este río centroeuropeo, a partir del cual se conocen distintos aspectos del ciclo de vida de salicáceas, ecología de bosques ribereños y sucesión vegetal, en relación al régimen hidrológico. Junto con los estudios dendro-geomorfológicos, comprenden herramientas que permiten integrar información de sistemas bióticos y abióticos, extendidas en el análisis de ríos y cuencas aluvionales de toda Europa (especialmente España y Suiza) para la gestión del riesgo ambiental y la planificación urbana (Karrenberg, 2003; Ballesteros et al., 2011). El objetivo de este trabajo es relacionar la colonización de las planicies de inundación y lechos fluviales por distintas especies de plantas leñosas y sus implicancias en la estructura comunitaria con la frecuencia de disturbios y bajantes del río.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada en este trabajo reconoce dos escalas: (i) a nivel del régimen hidrológico, y (ii) a nivel de comunidades. El régimen hidrológico se determinó con datos del río Limay tomados de los registros de erogaciones diarias de la represa de Arroyito desde 1980 hasta 2012 (datos obtenidos de la autoridad interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro) y del tramo inferior del Azul obtenidos de las estaciones de aforo del propio río y de su principal tributario, el río Quemquemtreu desde 1975 hasta 2012 (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación). Se estimaron las frecuencias de caudales y junto con las magnitudes, se linealizaron los datos por medio de gráficos log-log. A nivel de comunidades, se analiza la distribución de especies, coberturas, edades de parches y ubicación en el relieve. Se realizó un muestreo estratificado en 46 parches de vegetación riparia del río Limay y 43 parches del río Azul, asociados a unidades geomorfológicas específicas según Ward (2002). En forma paralela se barrenaron 105 árboles sobre el Limay y 75 sobre el Azul distribuidos en

distintas posiciones topográficas de las planicies de inundación y lechos fluviales, con barreno de Pressler. Con el objeto de reconocer el gradiente de estabilidad e inestabilidad del suelo, se evaluaron las relaciones establecidas entre la edad de los parches, la altura sobre el nivel de agua del cauce principal en época de estiaje y la distancia al mismo. Los gradientes de inestabilidad - estabilidad entre unidades edafo-geomorfológicas se establecieron, por medio de análisis de conglomerados con empleo de Infostat. A cada conglomerado fue asignado un valor en orden creciente de agrupamiento de las variables de manera de construir una variable independiente para un modelo de asociación de presencia y ausencia de coberturas vegetales. Los registros de

presencia-ausencia de especies del sotobosque se analizaron por medio de regresión logística con el gradiente de estabilidad, buscando niveles de asociación a geo-formas más estables. Este modelo de regresión logística permite investigar qué variables están relacionadas con la asignación de un individuo a una clase determinada con una distribución de probabilidades en forma binaria, a partir de una variable explicativa continua. Se estimó el desvío estándar de las muestras, con el fin de reconocer outliers y asignar un nivel de presencia - ausencia en función de la frecuencia de individuos de cada especie. Como la variable respuesta es binomial (0-1) se utilizó la función de enlace canónica logit.

1972



2010



Fig. 1. Área de estudio río Azul. Longitud: 55 kilómetros. Superficie de la cuenca: 1200 km². Pendiente: 9%. Qmax = 72 m³.s⁻¹. Qmin = 2 m³.s⁻¹. Crecida máxima (media): 600 m³.s⁻¹ (año 2004), con recurrencia estimada de evento extremo en 100 años de 1.200 m³.s⁻¹. Eco-región: bosque andino patagónico.

Área de estudio y régimen hídrico: Las aguas del Limay llegan al tramo estudiado reguladas por las represas hidroeléctricas de El Chocón (1971); Arroyito (1980); Alicurá (1984), Piedra del Aguila (1990) y Pichi Picún Leufú (1995). Las presas

incorporan una variable de control en el régimen hidrológico en los períodos comprendidos desde el inicio de actividades de los emprendimientos hasta el presente, a partir del agua embalsada que produce un factor de retardo en fases

de acumulación generadas en sucesivos saltos desde la confluencia del Limay con el Trafal, hasta Arroyito. Todo el valle fluvial del Limay desde Arroyito a la Confluencia comprende la región biogeográfica del Monte (Morello, 1995) y representa el extremo de un gradiente de diversidad establecido por un incremento del régimen pluvial hacia los Andes. El río Limay nace del lago Nahuel Huapi y la mayoría de sus tributarios desaguan a distintos lagos cordilleranos. A diferencia del río Azul que recibe las aguas del deshielo directamente a su cauce, al Limay tributan las aguas de una red de veintinueve lagos de origen glaciario, que son depositarios en primera instancia de la bajada de aguas de deshielo (datos obtenidos de la autoridad inter-jurisdiccional de la cuenca del Río Negro - AIC). Por esta razón, los ciclos de crecidas del Limay en la Confluencia, están amortiguados por dos fases de retardo: una natural establecida por los lagos naturales de la cuenca, previamente al ingreso al

cauce principal y otra artificial sobre el propio cauce (Fig. 1). El río Azul tiene 55 kilómetros de longitud y drena una cuenca de aproximadamente 1200 km², con una pendiente media del 9%. Existen registros recientes de crecidas súbitas que incrementaron su caudal hasta los 600 m³.s⁻¹ en el año 2004 y se estima que para un evento extremo, con tiempo de recurrencia de 100 años, el caudal podría alcanzar los 1.200 m³.s⁻¹ aproximadamente (dato obtenido del Instituto Nacional del Agua - INA, 2006 y de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación). La cuenca posee un régimen de descarga directa pluvionival y fusión de hielo al cauce, que se corresponde íntegramente dentro de los límites del bosque andino patagónico. El extremo de la desembocadura del Azul en el Lago Puelo se encuentra en la jurisdicción del Parque Nacional homónimo y da origen a una formación típicamente deltaica (Fig. 2).

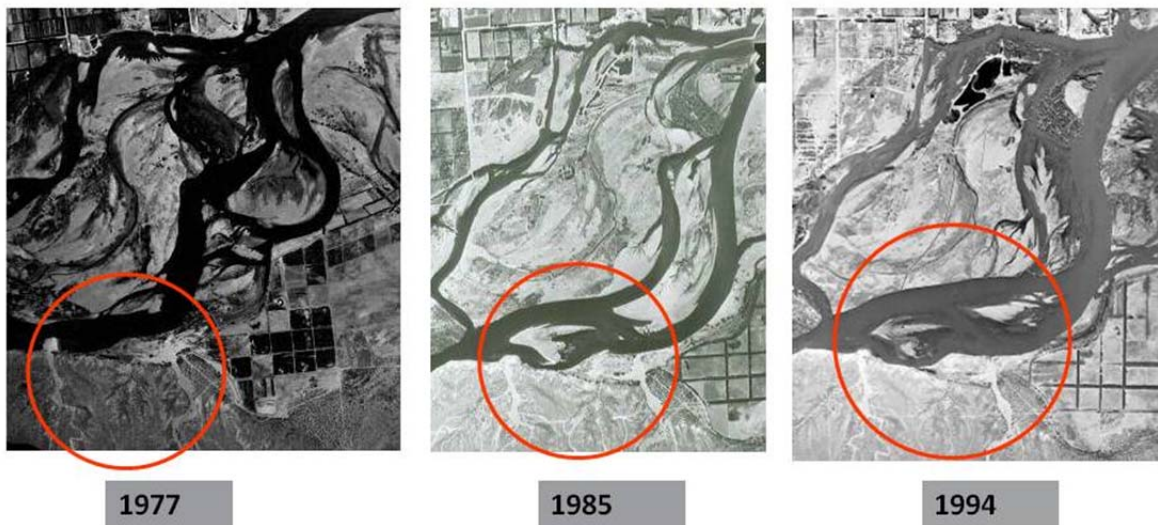


Fig. 2. Área de estudio río Limay. $Q_{max} = 2628 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. $Q_{min} = 72 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Módulo medio: $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Q_{max} con recurrencia estimada del evento extremo de 100 años: $9600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Lagos artificiales sobre su lecho: 5. Lagos naturales que desagua: 29.

RESULTADOS

Régimen hidrológico: Del análisis de la frecuencia y la magnitud de los caudales diarios se desprende que el río Limay posee una frecuencia de eventos extremos de crecidas muy baja en relación a los caudales próximos a la media. Pero

también existe una oscilación de dos caudales de alta frecuencia entre 400 y 900 m³.s⁻¹. La linealización de las frecuencias de magnitudes de caudales por medio de un gráfico log-log ($r=0,82$) expresa una brecha de caudales extremos muy amplia y una gran variedad de caudales muy

frecuentes próximos a una media de $560 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Las variaciones interanuales reflejan una sola onda de crecidas de invierno y estiaje de verano. Se reconocen tres períodos bien diferenciados de oscilaciones interanuales comprendidos por las medias mensuales en intervalos que van desde 1980, a partir del inicio de operaciones de la represa de Arroyito, a 1987; desde 1988 a 1999 y del año 2000 a 2011. La primera etapa comprende medias superiores a las medias totales del río (módulo medio de $560 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). El segundo período expresa niveles muy inferiores a la media y próximos al nivel de mínimos caudales históricos de verano. El último período expresa niveles coincidentes con la media,

con un incremento en todos los meses en relación al período anterior. Las variaciones de los períodos inter-anales se ajustan a las fluctuaciones de nivel relacionadas al ingreso en operaciones de distintas represas, al tiempo que expresan oscilaciones más frecuentes que las existentes antes del ingreso en operaciones de El Chocón. Las crecientes estacionales de la última década del Limay reconocen dos extremos de crecidas bien marcados entre invierno y primavera. El fenómeno está asociado a la demanda estacional de energía eléctrica que incrementa las erogaciones de caudales turbinados en las represas en invierno en la última década (Fig. 3).

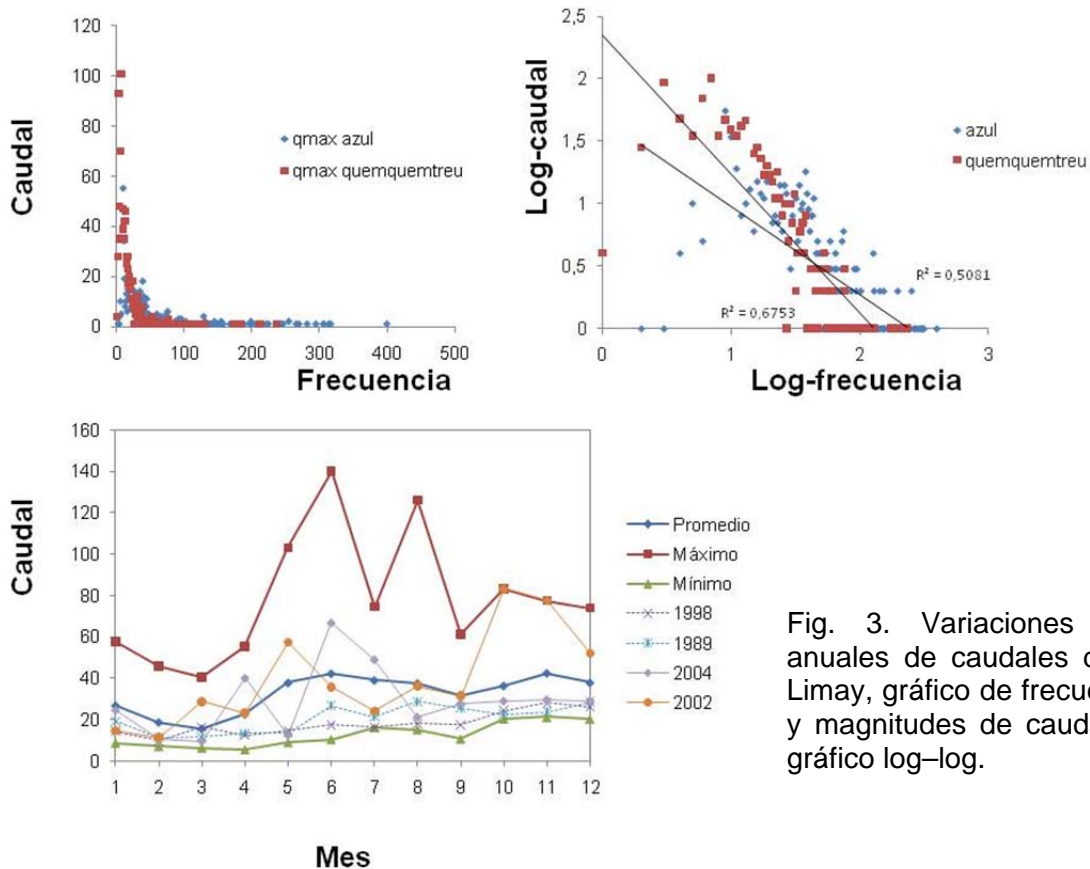


Fig. 3. Variaciones inter-anales de caudales del río Limay, gráfico de frecuencias y magnitudes de caudales y gráfico log-log.

El río Azul presenta oscilaciones más amplias entre eventos de crecidas y bajantes anuales producidas por la descarga directa de las aguas de deshielo y precipitaciones de la cuenca al cauce y una doble onda de crecidas anuales en invierno y primavera. A diferencia del río

Limay los pulsos de crecidas interanuales son menos regulares debido a las características de su régimen y a la cuenca. El Azul posee un régimen caótico característico con eventos poco frecuentes de crecidas de gran magnitud de más de $140 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y crecidas más frecuentes que

oscilan alrededor del promedio de caudales máximos de $72 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. La pendiente de curva de tendencia ($r=0,5$) del gráfico log-log expresa las características de un régimen de crecidas extremas poco frecuentes frente a caudales próximos a

una media de $28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Por esta razón, los registros siguen leyes potenciales típicas de sistemas caóticos. No se distinguen variaciones significativas entre los regímenes de los ríos Azul y su principal tributarios, el río Quemquemtrey (Fig. 4).

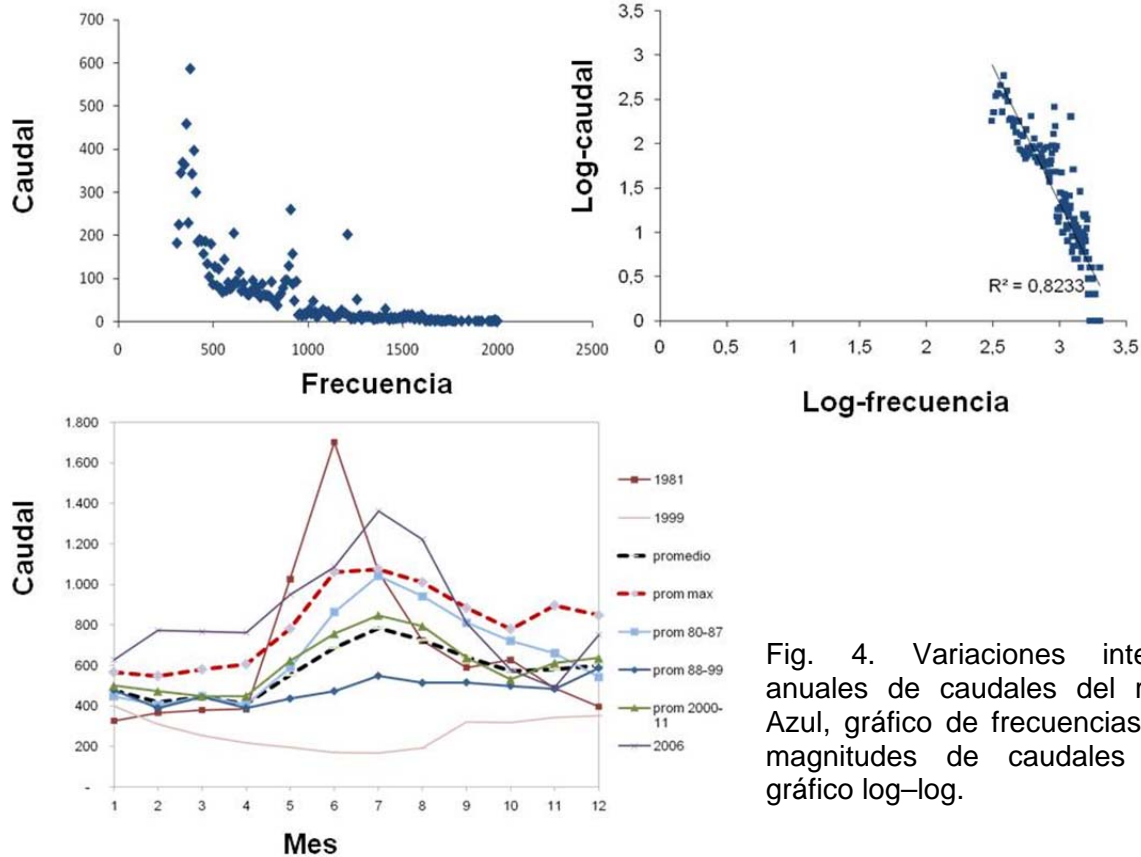


Fig. 4. Variaciones inter-
 anuales de caudales del río
 Azul, gráfico de frecuencias y
 magnitudes de caudales y
 gráfico log-log.

Análisis de la vegetación: El muestreo de testigos cilíndricos extraídos con barreno permitió estimar la edad de parches de vegetación riparia arbórea. Luego de una primera etapa de colonización iniciada hacia fines de los años 70 por *Salix alba*, le sigue la colonización de *Populus nigra*. Ambas especies de salicáceas comprenden las especies arbóreas dominantes del humedal ribereño del río Limay. El resto de las plantas colonizadoras, comprenden distintas especies de salicáceas, árboles de maderas más duras exóticos y el sauce nativo *S. humboldtiana*, que se incorporan, en los últimos 15 años. Con menos de 10 años se registraron individuos de especies exóticas ornamentales como *Fraxinus americana* y *Ulmus pumila*. Sobre el río

Azul la vegetación ribereña describe dos secuencias temporales de parches asociados cada una a vegetación nativa y exótica. Predominan ejemplares de *Nothofagus dombeyi*, *Maytenus boaria* y *Myrceugenia exsucca* de más de 32 años. En el período más reciente, existe un predominio de parches de la especie invasora *S. fragilis*, con presencia de especies nativas. Al igual que en el río Limay se observa una mayor diversificación de especies en los procesos de colonizaciones recientes. El Azul en esta última etapa se caracteriza por la presencia de *Austrocedrus chilensis*, *Aristotelia chilensis* y especies riparias nativas de ambientes lénticos como *Luma apiculata* y *M. exsucca* (Fig. 5).

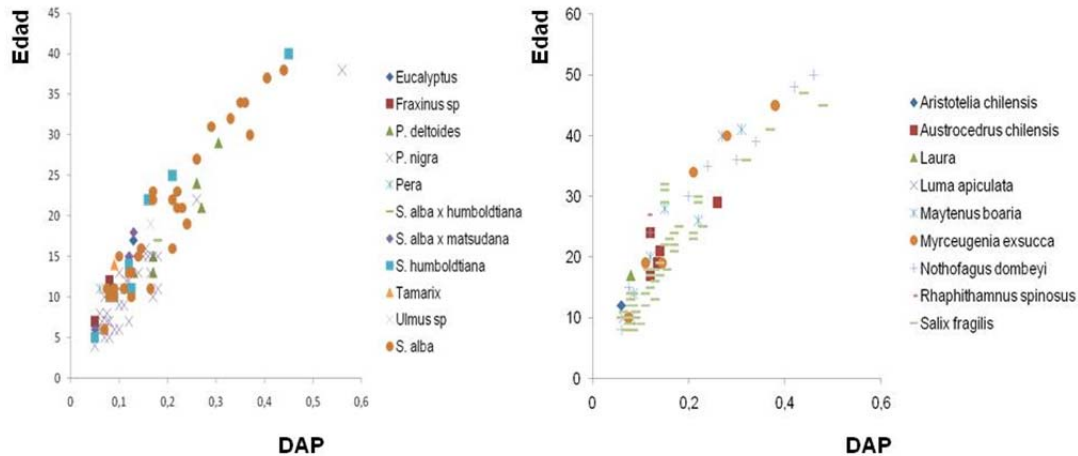


Fig. 5. Estructura etaria de parches del río Azul, con dos clases diferenciadas de *Nothofagus dombeyi* (pioneros) y poblaciones recientes de *Salix fragilis* (25 años) y estructura etaria de parches del río Limay, con dos clases diferenciadas de *S. alba* (pioneros) y poblaciones recientes de *Populus nigra* (23 años).

Las colonizaciones de diversas especies de salicáceas sobre la planicie de inundación del río Limay se asocian a períodos de bajantes extraordinarias. El primer período se establece a partir de una bajante extraordinaria en 1987 y dos años consecutivos secos con bajantes históricas y crecidas muy bajas entre 1988 y 1989. El segundo corresponde a un periodo seco extendido a lo largo de toda la década de los noventa, pero con dos años de bajantes extraordinarias entre 1999 y 2000. En relación a estos períodos, se inicia un proceso de bajantes históricas y crecidas débiles, asociado a un marcado incremento

de los individuos de *S. alba*. Tras este período seco se produce un incremento de todas las poblaciones del bosque ripario con un reemplazo de la dominancia de *P. nigra* sobre *S. alba* y un incremento de la riqueza de especies en general y de especies de maderas duras en particular (*Fraxinus americana* y *Ulmus pumilia*). En todos los casos, las poblaciones de *S. humboldtiana* se mantienen estables con un leve incremento hacia el final del período estudiado. El período comprendido por los últimos trece años se corresponde con un leve incremento de las crecidas estacionales (Fig. 6).

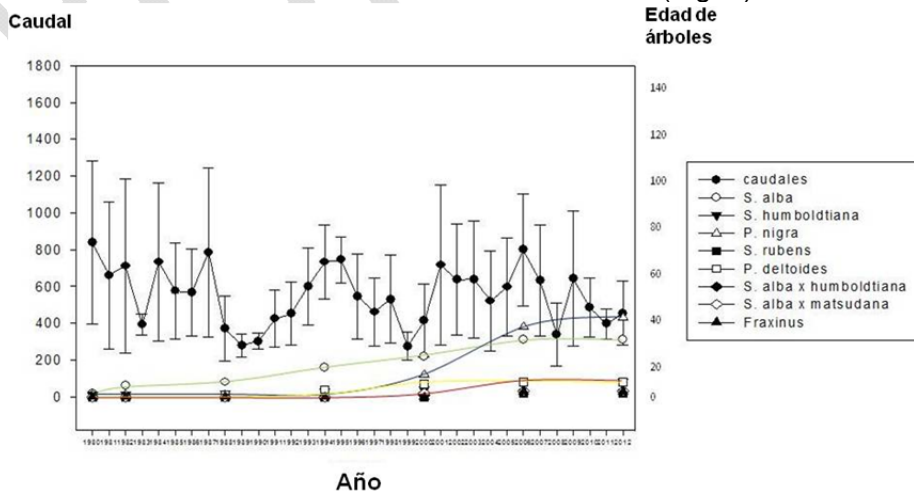


Fig. 6. Sincronización del desarrollo de bosques riparios y el régimen hidrológico del río Limay.

Sobre la planicie de inundación del Azul, la vegetación principal de la cuenca pre-existente a la invasión de salicáceas eran bosques riparios de pitras y de especies andino patagónicas no riparias. Se registraron dos grupos etarios bien diferenciados de parches de *Salix fragilis* que se asocian a dos períodos con bajantes extraordinarias a partir de 1988 y del año 2000, con caudales muy bajos en forma general. En tanto que los parches de

vegetación nativa aparecen a lo largo de toda la serie temporal con variaciones en la diversidad. Los cambios en la composición se corresponden con el mismo período de expansión de *S. fragilis* y sin registro de cambios significativos en la frecuencia e intensidad de los eventos de crecidas y bajantes del río a excepción del año 2000 con bajantes extraordinarias pero crecidas importantes (Fig. 7).

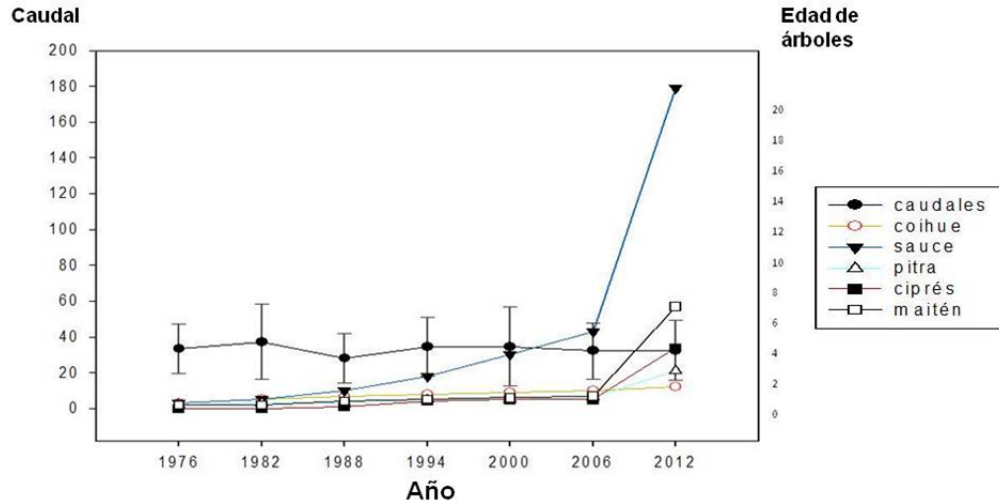
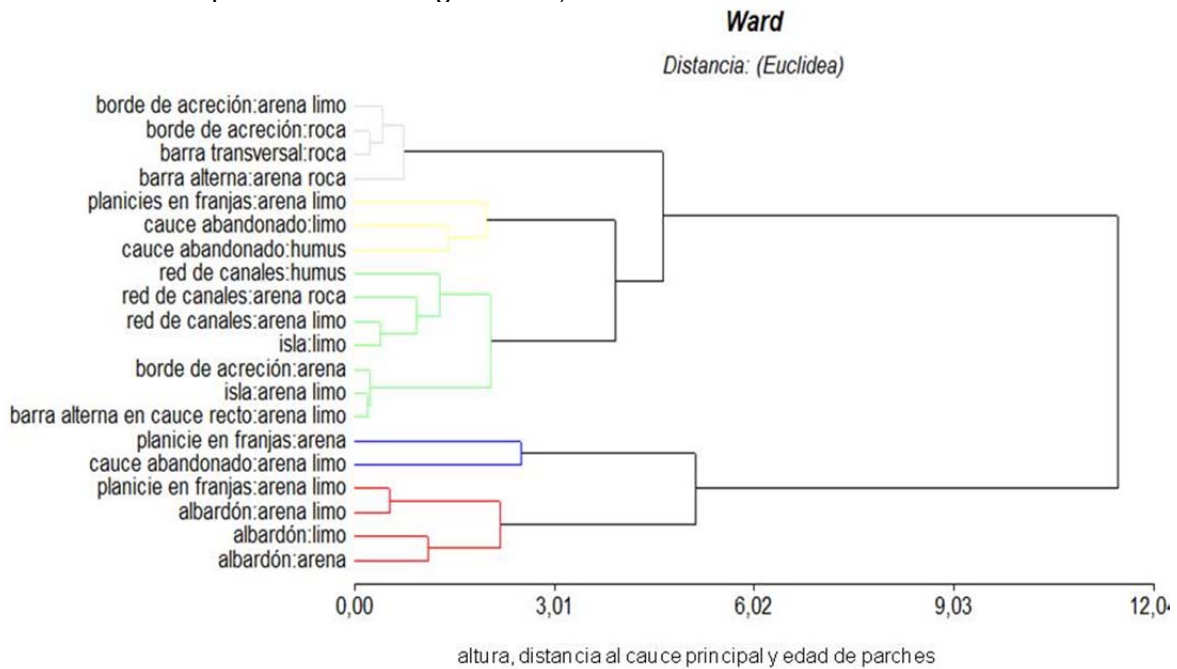


Fig. 7. Sincronización del desarrollo de bosques riparios y el régimen hidrológico del río Azul.

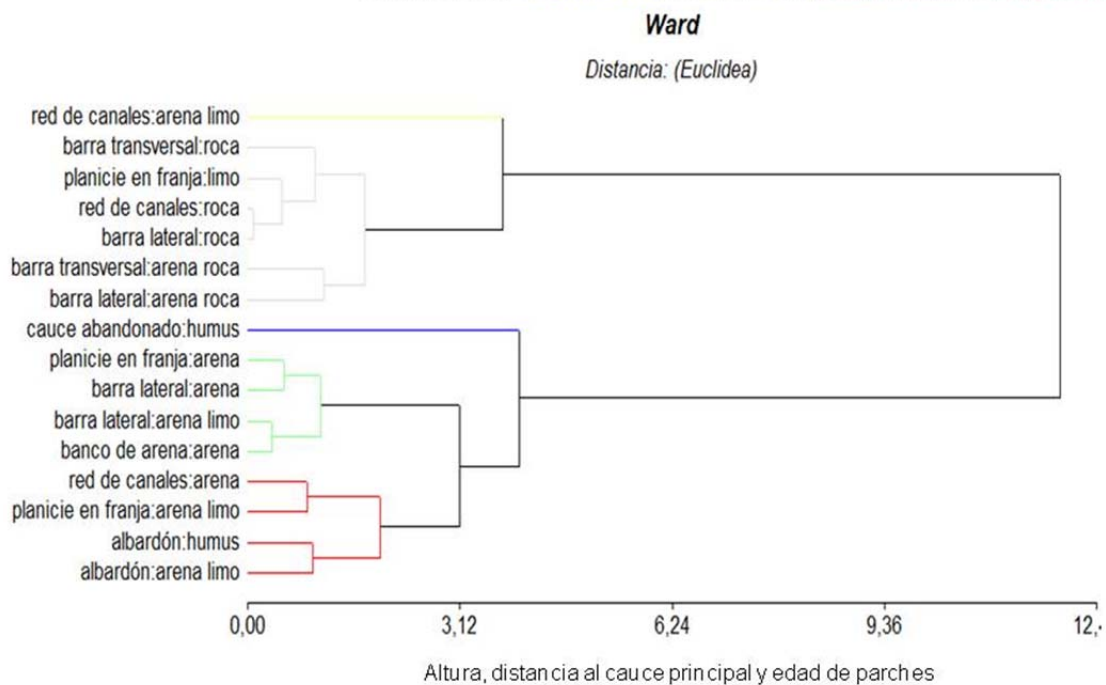
Del análisis de conglomerados de variables edafogeomorfológicas y etarias de parches del Limay se desprende la presencia de un gradiente de disturbios introducidos por el régimen de crecidas. Las unidades de muestreo a baja altura, próximas al río y con árboles jóvenes más inestable, se corresponden con barras laterales y redes de canales temporarios. Las unidades elevadas, lejanas y con parches longevos más estables, en términos hidrológicos, se corresponden principalmente con planicies y albardones. Se extrajeron cinco conglomerados para cada río, obtenidos de los respectivos dendrogramas con correlaciones cofenéticas de 0,704 y 0,667 (Fig. 8). Del análisis del modelo de regresión logística para el Limay se asocian unidades geomorfológicas estables con *Lonicera japónica*, renovales de *Fraxinus americana* y *Rosa canina*. Negativamente a la variable lo hacen

poblaciones renovales de *Populus nigra*, *Scirpus sp* y *Lippia turbinata*. Varias especies se asocian de diferente manera con alguno de los extremos del gradiente. Los renovales de *F. americana* y *Baccharis salicifolia* se asocian positivamente con unidades geomorfológicas estables (Tabla 1). Sobre las unidades más estables de la planicie del río Azul se asocian coberturas de *Nothofagus dombeyi*, especialmente del grupo etario de esta especie de mas de 32 años. En el extremo opuesto del gradiente se asocian distintas coberturas de *Salix fragilis*. Se destacan asociadas al extremo estable del gradiente las especies nativas como la enredadera *Boquila trifoliata*, renovales de *Aristotelia chilensis*, *Luma apiculata* y de *Maytenus boaria*; indicadores de complejidad estructural de la vegetación. También se asocia en ese sentido del gradiente la especie exótica *Rubus ulmifolia* (Tabla 2). Los niveles de

cobertura de las distintas especies de salicáceas en ambos ríos abarcan casi todas las superficies del gradiente, encontrándose presente en el 86 % de las muestras del Limay y el 75 % de las muestras del Azul.



Conglomerado 1; conglomerado 2; conglomerado 3; conglomerado 4; conglomerado 5



Conglomerado 1; conglomerado 2; conglomerado 3; conglomerado 4; conglomerado 5

Fig. 8. Análisis de conglomerados de variables dendro-geomorfológicas de los ríos Limay y Azul.

Tabla 1. Frecuencia de especies y coeficientes de regresión según gradiente de estabilidad - inestabilidad geomorfológica del río Limay

Especies	Nombre vulgar	origen	Frecuencia*	Variable geomorfológica		Significancia del modelo (estable)
				Coeficiente de regresión	Nivel de significancia	
Positivamente asociado						
<i>Rosa canina</i>	rosa mosqueta	exótica	0,19	1,85	0,018	0,017
<i>Lonicera japónica</i>	madreselva	exótica	0,13	1,52	0,037	0,021
<i>Fraxinus americana</i> (renoval)	fresno	exótica	0,20	0,60	0,013	0,001
Negativamente asociado						
<i>Populus nigra</i> (renovales)	álamo	exótica	0,59	-0,88	0,0009	0,0003
<i>Lippia turbinata</i>	poleo	nativa	0,55	-0,83	0,0015	0,0008
<i>Scirpus sp</i>	junco	nativa	0,63	-0,56	0,014	0,012
Salicáceas	saucos y álamos		0,86			

*Frecuencia de especies por grupo funcional.

Tabla 2. Frecuencia de especies y coeficientes de regresión según gradiente de estabilidad - inestabilidad geomorfológica del río Azul.

Especies	Nombre vulgar	origen	Frecuencia*	Variable geomorfológica		Significancia del modelo (estable)
				Coeficiente de regresión	Nivel de significancia	
Positivamente asociado						
<i>Nothofagus dombeyi</i>	coihue	nativa	0,20	0,53	0,029	0,001
<i>Nothofagus dombeyi</i> (+32)	coihue	nativa	0,18**	0,89	0,027	0,004
<i>Boquila trifoliata</i>	boquilla	nativa	0,98	0,76	0,012	0,001
<i>Rubus ulmifolia</i>	murra	exótica	0,28	1,16	0,001	0,001
<i>Maytenus boaria</i> (renoval)	maitén	nativa	0,09	0,77	0,001	0,0004
<i>Luma apiculata</i> (renoval)	arrayán	nativa	0,09	0,49	0,051	0,001
<i>Aristotelia chilensis</i> (renoval)	maqui	nativa	0,15	0,82	0,001	0,0009
Negativamente asociado						
<i>Salix fragilis</i> (renoval)	sauce	exótica	0,31	-0,58	0,008	0,004
Salicáceas	saucos y álamos		0,75			

*Frecuencia de especies por grupo funcional. **Frecuencia del grupo etario por especie.

DISCUSION

El régimen fluvial a través de bajantes y crecidas, genera un ciclo de disturbios y auto-organización, en donde cada evento

extraordinario de grandes avenidas o recurrentes crecidas estacionales, genera sitios que son colonizados por *P. nigra*, *Scirpus sp* y *L. turbinata*, en meandros,

barras laterales y transversales, del río Limay y por *S. fragilis* en barras laterales del Azul. La edad de parches estimada para bosques ribereños del río Limay sugiere una primera etapa de colonización de *S. alba*, a partir del ingreso en operaciones de El Chocón, seguida por una etapa sucesional de *P. nigra*, iniciada en los años 90, coincidente con una disminución generalizada de los caudales de agua. En el río Azul, unos pocos individuos arbóreos de *N. dombeyi* y *M. boaria* colonizaban geo-formas estables, hasta que se inicia una etapa de colonización masiva de *S. fragilis* en unidades inestables en la década del 80, coincidente con bajantes extraordinarias. Los cambios introducidos en el régimen hidrológico por la regulación de represas, favorecen la colonización de salicáceas sobre superficies estabilizadas a partir de la disminución de la frecuencia e intensidad de crecidas (Webb y Leake, 2006; Ward et al., 2002).

Las bajantes extremas de los caudales de agua actúan en forma análoga al abandono de tareas agrícolas en un campo de cultivo. Una vez que las condiciones generadas por la energía que ingresa disturbios al sistema cesan, se origina una nueva condición favorable a la colonización de especies oportunistas. En el ambiente ripario pocas especies de salicáceas como *P. nigra*, persisten en condiciones de disturbios introducidos por crecidas posteriores a su establecimiento, y favorecen al establecimiento de otras especies. En este punto, en el que sauces y álamos se establecen sobre los sustratos emergentes, se produce una inflexión entre el proceso exógeno dirigido por el disturbio y el proceso endógeno que da origen a la comunidad riparia y a una nueva configuración del cauce del Limay y la vegetación asociada.

Cada etapa seral caracterizada por distintas especies de salicáceas establece un estado de equilibrio relativo asociado a los procesos de cambio. Previo al período de regulación del río Limay en las décadas de los 70 y 80, el registro dendro-

cronológico evidencia que los procesos de colonización estaban dirigidos por *Salix alba* principalmente. Los registros de aparición de *Populus nigra* se corresponden con el período seco, lo que permite relacionar el hecho con las condiciones hidrológicas, ya que la especie fue introducida masivamente desde principios del siglo veinte. Algunos aspectos de la colonización de salicáceas sobre la planicie de inundación del río Limay se asemejan a las condiciones de incremento de las coberturas de vegetación riparia en el sudeste de los Estados Unidos (Webb y Leake, 2006).

La evaluación de la distancia, la altura y la edad de los parches, permitió definir el gradiente de estabilidad sobre el que se encuentran las distintas unidades geomorfológicas relevadas. Junto con el incremento de la riqueza de especies de árboles, los procesos de sucesión vegetal de ambientes riparios en el norte de la Patagonia se caracterizan por un incremento gradual las coberturas y la complejidad estructural de unidades discretas de vegetación asociadas a procesos de estabilización. A esta condición, sobre el Limay, se asocian otras especies invasoras, en algunos casos, indicadora de estabilidad y regeneración edáfica como *Lonicera japonica* y *Rosa canina*, ampliamente difundida en la alta cuenca, sobre el bosque andino patagónico donde la invasión abarca amplias superficies (Fig. 9). En el Azul, pocas especies crecen en superficies recurrentemente alcanzadas por las crecidas estacionales, produciéndose pedreros y bancos de arena desprovistos de vegetación o con arbustales de *S. fragilis*. Si bien en este río no operan condiciones de control como en el río Limay, las variaciones naturales del régimen de crecidas favorecieron en años secos la colonización de sauces. De esta manera se fue configurando una estructura de bosque ripario zonificado de acuerdo a un gradiente de estabilidad e inestabilidad bien definido. Si bien la colonización dominante de *S. fragilis* restringe la

diversidad de comunidades, estos bosques están acotados a zonas inestables, para las cuales no existen especies del acervo nativo con adaptaciones a condiciones riparias inestables. El pitral que se encuentra próximo al delta del Azul, es una formación de bosques pantanosos, propia de aguas lentas o de bajo escurrimiento. No existe en la ecorregión del bosque

andino patagónico, vegetación original adaptada a aguas rápidas. Por eso, *Salix fragilis* invade superficies inestables como pedreras y bancos de arena. Los ambientes riparios históricamente más estables en el frente de avance del delta sobre el lago, son ocupados por *M. exsucca* y *L. apiculata*, sin presencias significativas de *S. fragilis*.

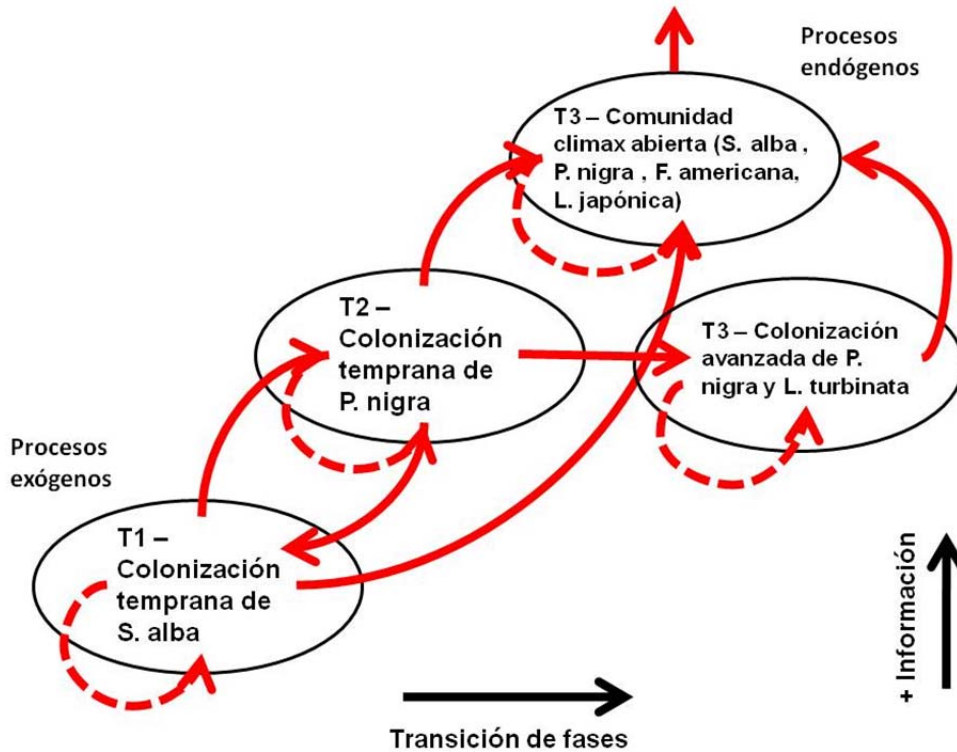


Fig. 9. Modelo de sucesión vegetal de planicies de inundación del río Limay.

El régimen del río Azul es típicamente caótico con eventos de disturbios de alta energía poco frecuentes en relación al resto de caudales registrados. Aún cuando existen bajantes históricas y niveles de crecidas muy bajos correspondientes a un período de seis años (1982 – 1988), los caudales en baja son similares a la media ($28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), mientras que las crecidas extraordinarias se ubican muy por encima de la media de máximas más frecuentes de los $72 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, llegando a superar los $140 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Las especies identificadas dentro del período comprendido por el registro de caudales entre 1975 y 2012, permiten reconocer dos etapas bien definidas. Una de colonización de especies nativas y otra

de salicáceas exóticas. Ambas comunidades se diferencian por las características eco-fisiológicas de las especies que las integran y por las edades. Mientras *S. fragilis* es una especie típicamente riparia con tolerancia a largos períodos de anegamiento y flexibilidad de los tallos que le confieren resistencia a la escorrentía del agua, la vegetación nativa del bosque andino patagónico presente en el ambiente fluvial se divide en dos grupos definidos en parte por estas condiciones. Entre distintas especies de fagáceas que colonizan las superficies estables desde la cuenca alta a través de la dispersión de semillas por los ríos, arroyos tributarios y principalmente el viento y las especies riparias de aguas

lentas o estancas del perilago y el delta, tolerantes al anegamiento. Los bosques riparios de *Salix fragilis* colonizan la superficie del lecho fluvial masivamente hacia fines de los años 70, en coincidencia con el cambio de uso del suelo de ganadero a cultivos y el desarrollo de nuevas formas de agricultura en la comarca andina del paralelo 42. Sin embargo, la explosión invasiva de *S. fragilis*, no impidió el desarrollo de otras especies de maderas duras nativas como *Nothofagus dombeyi*, *Maytenus boaria* y *Austrocedrus chilensis* en planicies y albardones protegidos en los laterales por *S. fragilis*. Dentro de esta fase inestable aún se reconocen dos tendencias dada por coberturas asociadas a *N. dombeyi*, *M. boaria*, y otra por grupos renovales de *L. apiculata*, *A. chilensis* y *M. exsucca*; en bosques abiertos de *S. fragilis* y otra en bosques con coberturas elevadas de *Rubus ulmifolia* en posible etapa de estabilización (Fig. 10). La afectación de la diversidad que podría implicar la invasión de *S. fragilis*, queda acotada a las zonas de

muy baja diversidad y ocupación vegetal. Aunque existe evidencia de que la altura y la distancia al río comprenden factores relacionados a la riqueza de especies leñosas principalmente (Karrenberg et al, 2003), esto entra en contradicción con otros estudios. En este caso, a diferencia de los ríos del centro de Europa (Karrenberg et al., 2003; Ward, 2002) y del sudeste de California (Webb y Leake, 2006) regulados por represas o pendientes variables, podría plantearse que no existe afectación sobre la diversidad vegetal del sistema. Los sauzales por facilitación favorecen colonización de estratos bajos sobre superficies emergentes, la estabilización de bordes y la consiguiente diversificación de zonas estables. Futuros estudios podrían respaldar la idea de que los sauces facilitan en el proceso de sucesión vegetal de ambientes riparios, el desarrollo de parches de *Nothofagus* en planicies inundables, en tanto el régimen de crecidas de gran magnitud de baja frecuencia mantiene raleado el bosque y libera espacio para nuevas colonizaciones.

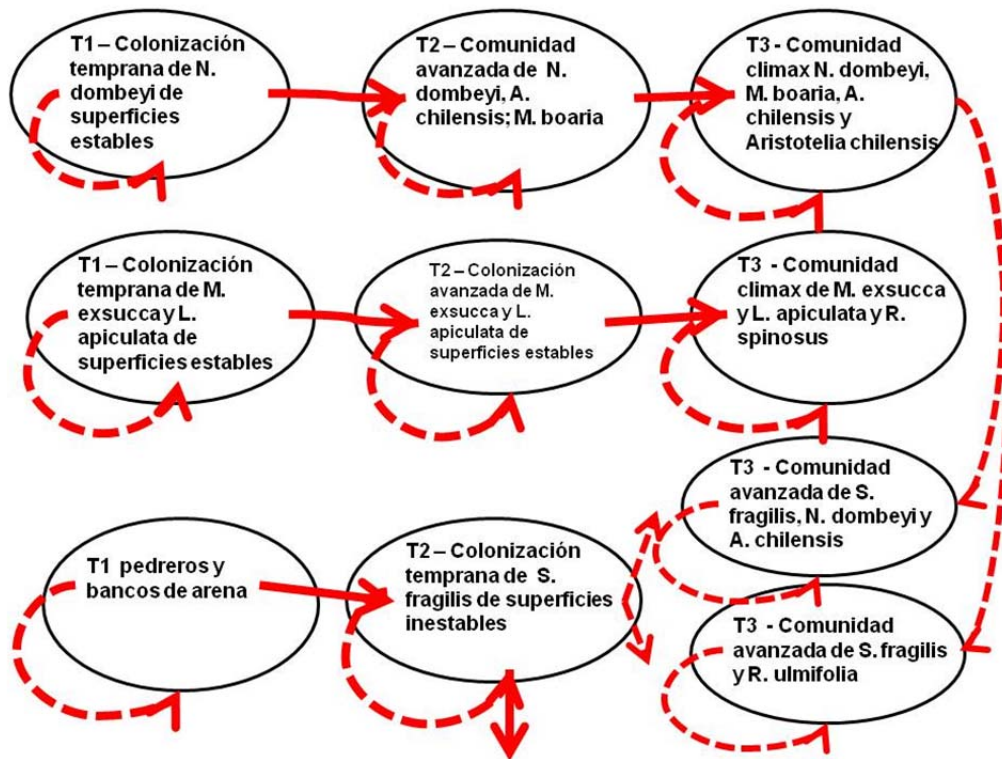


Fig. 10. Modelo de sucesión vegetal de planicies de inundación del río Azul.

Los gradientes de elevación sobre el nivel del agua y la distancia influyen en procesos sucesionales en el río Azul, al igual que en el río Tagliamento (Karrenberg et al., 2003). Los resultados del presente estudio respaldan la idea de que la composición de las especies en la zona activa puede verse afectada tanto por la zonación y la sucesión, dependiendo del contexto geomorfológico y la especie, tal como se produce en las regiones de donde son originarias las especies exóticas de salicáceas.

La configuración de bosques riparios de salicáceas exóticas en los ríos Limay y Azul, introdujo nuevas variables de control de procesos y de dinámicas de flujos, de los caudales de agua de ambos ríos. La colonización de zonas relativamente estables en períodos de sequía o bajantes, trae aparejado el problema de la estabilidad futura de la geo-forma colonizada. La frecuencia más reducida de crecidas de gran magnitud mantiene las poblaciones riparias bajas sobre el lecho y permite evacuar fácilmente las aguas. Pero la colonización de parches seniles constituye un obstáculo para las crecidas poco recurrentes e incrementan el riesgo de avulsión de costas por desenraizamiento de árboles maduros. Por eso se recomienda, tanto para la gestión de la operación de presas como de líneas de ribera, el mantenimiento de ciertas condiciones de disturbios introducidas por crecidas superiores a las medias de las máximas de ambos ríos, que mantienen los procesos de sucesión vegetal acotados a superficies más estables. Al mismo tiempo se propone la conservación de parches de bosques, en relación a unidades geomorfológicas estables y especialmente sobre-elevadas con el fin de delimitar y fijar los cauces. En el caso particular del río Azul las planicies de inundación comprenden las áreas de mayor diversidad y dispersión de especies nativas, asociadas a bordes estabilizados por *S. fragilis* que en este caso funcionan como facilitadores del proceso de sucesión más avanzado del bosque. No se recomienda la remoción con fines de

restauración o manejo de sauces de bordes ribereños, en cambio se propone el raleo de parches de tamaños mayores, de esta especie.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte del proyecto de tesis doctoral de L. Datri. Para el desarrollo del trabajo de campo en el río Limay se contó con el aporte de los instructores de canotaje del Club Italiano Fernando Milla y Cecilia Komaceck. En el Azul, el trabajo contó con el apoyo del Parque Nacional Lago Puelo y en particular del Guardaparque Nacional Mauricio Berardi. También se destaca el apoyo del Laboratorio de Investigaciones Ecológicas del Norte de la Patagonia, de la Universidad Nacional del Comahue. La primera etapa de las campañas de relevamiento de campo realizadas entre 2011 y 2012, se realizó con aportes de una beca de investigación de la Universidad de Flores y la particular labor de la directora de investigación de la sede Comahue, la Dra. Cristina García Vazquez.

BIBLIOGRAFIA

- Bodoque, J.M., A. Lucía, J.A. Ballesteros, J.F. Martín-Duque, J.M. Rubiales, M. Genova. 2011. Measuring medium-term sheet erosion in gullies from trees: A case study using dendrogeomorphological analysis of exposed pine roots in central Iberia. *Geomorphology* 134: 417-425.
- Datri, L., R. Maddio. 2010. Geometrías fluviales en la definición del paisaje de la Colonia Valentina Sur (Neuquén) y Balsa Las Perlas (Río negro). *Calidad de Vida UFLO - Universidad de Flores Año II*, 5(1): 141-157.
- Díez-Herrero, A., J.A. Ballesteros, J.M. Bodoque, M.A. Eguíbar, J.A. Fernández, M. Génova, L. Laín, M. Llorente, J.M. Rubiales, M. Stoffel. 2007. Mejoras en la estimación de la frecuencia y magnitud de avenidas torrenciales mediante

- técnicas dendrogeomorfológicas. *Boletín Geológico y Minero* 118(4): 789-802.
- Díez-Herrero, A., L. Lain-Huerta, M. Llorente-Isidro. 2008. Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie Riesgos Geológicos/Geotecnia nº1, 190 pp.
- Karrenberg, S., J. Kollman, P. Edwards, A. Gurnell, G. Petts. 2003. Patterns in woody vegetation along the active zone of a near-natural Alpine river. *Basic Appl. Ecol.* 4: 157-166.
- Karrenberg, S., S. Blaser, J. Kollmann, T. Speck, P. Edwards. 2003. Root anchorage of saplings and cuttings of woody pioneer species in a riparian environment. *Functional Ecology* 17: 170-177.
- Morello, J. 1995. Grandes ecosistemas de Sudamerica. En: Gallopin, G. (Ed.). *El futuro ecológico de un continente*. Fondo de Cultura Económica. Buenos Aires, Argentina. pp 101-163.
- Ruiz-Villanueva, V., A. Díez-Herrero, M. Stoffel, M. Bollschweiler, J. Bodoque, J. Ballesteros. 2010. Dendrogeomorphic analysis of flash floods in a small ungauged mountain catchment (Central Spain). *Geomorphology* 42: 383-392.
- Webb, R.H., S.A. Leake. 2006. Ground-water surface-water interactions and long-term change in riverine riparian vegetation in the south western United States. *Journal of Hydrology* 320: 302-323.