

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XXIV CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

**EFFECTO DE LA VEGETACIÓN RIBEREÑA EN LA SEDIMENTACIÓN SOBRE
BARRAS LATERALES**

JOSÉ ALIAGA V.¹
ANITA LABORDE G.²
FABIAN HELLWIG W.¹
FELIPE JELDRES A.¹
ESTEBAN FLORES H.¹
OSCAR LINK L.³

RESUMEN

En este estudio se analiza el efecto de la vegetación arbórea ribereña sobre la sedimentación en barras durante crecidas fluviales. Para ello, se realizó un estudio en el río Carampangue. Se caracterizó la vegetación ribereña. Se midió la sedimentación en 27 sitios con vegetación y 9 sin vegetación. Los resultados obtenidos muestran que la presencia de vegetación genera un cambio en la composición granulométrica del sedimento que deposita durante la recesión de las crecidas, con un aumento del contenido de las fracciones finas respecto a la situación sin vegetación. Los efectos de la vegetación sobre la depositación de sedimentos se discuten para el uso de vegetación en obras de encauzamiento ambientalmente amigables.

¹Ing. Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción – jaliaga@udec.cl

²Candidato a Doctor, Ing. Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción – alaborde@udec.cl

¹Ing. Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción – fhellwig@udec.cl

¹Ing. Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción – fjeldres@udec.cl

¹Ing. Civil (MSc.), Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción – efloresh@udec.cl

³Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción – olink@udec.cl

1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente el manejo de riberas y la protección ante inundaciones se ha llevado a cabo con obras de contención (por ejemplo, gaviones, diques, *rip-rap*, etc.) que, si bien, cumplen con su objetivo de establecer las laderas de los ríos, también provocan discontinuidad lateral del cauce, afectando los servicios ecosistémicos (Datry *et al.*, 2018). En las últimas décadas, se ha evidenciado y reconocido el rol de la vegetación como ingenieros del sistema fluvial (Gurnell, 2013; Rowiński *et al.*, 2018), sugiriendo el uso de vegetación como en una alternativa más sustentable que los tradicionales enrocados para obras de encauzamiento.

La vegetación ribereña afecta y, a su vez, responde a los procesos fluviales. La vegetación modifica el campo de flujo (por ejemplo, Liu *et al.*, 2010; Bennett *et al.*, 2008) ya que se comporta como un obstáculo, disipando energía, lo que se traduce, en una alteración del régimen de transporte de sedimentos y de los patrones de sedimentación (por ejemplo, Prosser *et al.*, 1995; Ishikawa *et al.*, 2003). Por su parte, la vegetación a través de sus raíces altera las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos (por ejemplo, Pollen-Bankhead y Simon, 2010), y con esto, la estabilidad, resistencia a la erosión, y régimen de humedad de la planicie de inundación (por ejemplo, Gurnell *et al.*, 2012; Collins *et al.*, 2012). Recientemente, las interacciones entre vegetación ribereña y los procesos fluviales han recibido mayor atención por parte de la comunidad científica y están siendo más estudiadas (por ejemplo, Corenblit *et al.*, 2009; Camporeale *et al.*, 2013).

La sedimentación debido a la presencia de vegetación se reconoce como un factor clave en la formación de islas aluviales y estabilización de laderas. Por una parte, existe gran cantidad de evidencia de este proceso, con datos en terreno de islas establecidas 1.5 m sobre los puntos más altos de las barras de arena en el cauce activo (Gurnell *et al.*, 2001). Sin embargo, Steiger y Gurnell (2002) evidenciaron una disminución de las tasas de sedimentación a medida que aumenta la presencia de vegetación, atribuyéndolo a que la vegetación tiene menor relevancia sobre la sedimentación que otros procesos fluviales, por ejemplo, la frecuencia de inundación, disposición en el cauce, entre otros. Por su parte, Gurnell *et al.* (2016) reconocen la existencia de vacíos respecto a la importancia relativa de los distintos procesos fluviales sobre la sedimentación. Resultados no concluyentes respecto a la influencia de vegetación sobre la sedimentación se pueden deber a que los estudios existentes se han llevado a cabo principalmente en laboratorio, con sus limitaciones respecto a escalas espaciales y temporales. En consecuencia, se requiere estudiar los procesos e interacciones con mayor detalle, en terreno.

Para determinar la sedimentación en un tramo se pueden utilizar diversos métodos: indirectos, como la diferencia de sólidos suspendidos aguas arriba y abajo de un tramo, o ecuaciones para el cálculo de la sedimentación, directos: con observaciones o mediciones desde el lecho. De estos métodos, la medición directa utilizando trampas de sedimentos es el único que permite conocer la variación espacial de la sedimentación (Gretener y Strömquist, 1987). Este método provee mediciones directas de tasas de sedimentación y las características del sedimento captado en el cauce y zonas ribereñas (Steiger *et al.*, 2001).

El objetivo del presente estudio es analizar el efecto de las especies arbóreas ribereñas sobre la sedimentación de barras laterales en el río Carampangue.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde al tramo inferior del Carampangue (área de 1273.3 km²), que se ubica en la provincia de Arauco, Región del Biobío. Se origina en la cordillera de Nahuelbuta y desemboca en el Golfo de Arauco. Recibe aportes de varios afluentes, entre ellos, el río Lía (337.0 km²), estero Los Patos (158.6 km²), y estero Malloga (27.2 km²). En particular, se realizaron mediciones en un tramo de 1.8 km como se indica en la Figura 1.



Figura 1. Área de estudio y sitios de muestreo de sedimentos. Se definieron sitios a cuatro elevaciones diferentes respecto al *thalweg*, de manera de representar cuatro tiempos de exposición distintos durante crecidas (grupos A, B, C y D).

3. MÉTODOS

Caracterización de la vegetación

La vegetación fue caracterizada según Elosegí y Díez (2009). Para cada sitio, se tomaron muestras de las especies presentes y se midió el diámetro de la sección principal de cada árbol a 1 m de altura con un pie de metro. A partir del diámetro medio, los sitios se clasificaron en tres clases: “sin vegetación” cuando no existe presencia árboles, “renovales” cuando el diámetro medio del tronco es menor a 20 mm, y “árboles” cuando el diámetro medio del tronco es mayor a 20 mm.

Muestreo de tasas de sedimentación

El muestreo de las tasas de sedimentación se realizó de acuerdo a Lambert y Walling (1987). Este método tiene como objetivo representar todas las formas geomorfológicas presentes en el lugar (islas, barras, canales secundarios, etc.) de manera semi-aleatoria. Se seleccionaron 36 sitios de muestreo, de acuerdo a características geomorfológicas, accesibilidad y elevación respecto al *thalweg*. La Figura 1 muestra la ubicación de los sitios de muestreo dentro del tramo de estudio.

Para medir la sedimentación en los sitios de muestreo, se utilizaron trampas de sedimentos similares a las utilizadas por Lambert y Walling (1987). En cada sitio de muestreo se instaló una trampa de sedimento construida con un limpiapiés de polietileno (31 cm x 41 cm y área total de 1.271 cm²) con mechones de 18 mm de alto como se muestra en la Figura 2.

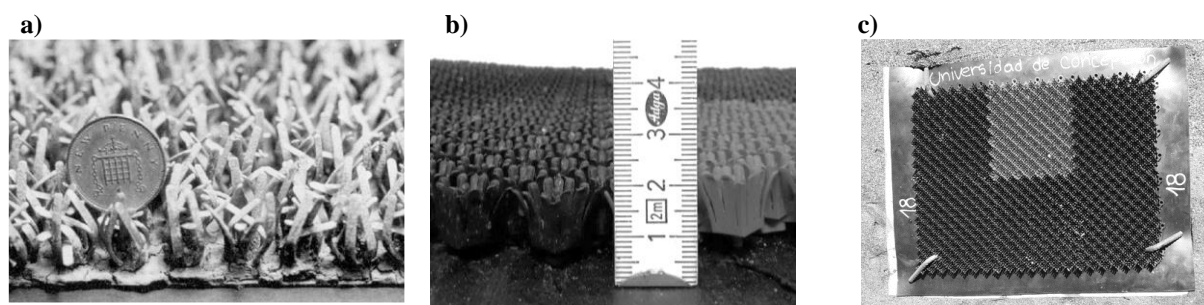


Figura 2. Vista lateral de la trampa utilizada en la literatura (Lambert y Walling, 1987) (a) y de la trampa utilizada en este estudio (b); vista en planta de la trampa en el lecho (c).

Las trampas se anclaron al lecho del río con cuatro estacas de acero de 45 cm de largo y se numeraron para su fácil reconocimiento (ver Figura 2c). Después del periodo de medición, las trampas se retiraron y trasladaron al Laboratorio de Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la Universidad de Concepción para su análisis.

En el Laboratorio las trampas de sedimentos fueron lavadas con una hidrolavadora para retirar todo el sedimento acumulado. La mezcla de agua con sedimento resultante del lavado se colectó en bandejas metálicas, donde se dejaron sedimentar durante dos semanas. Las bandejas con el sedimento húmedo se secaron en un horno a 45 °C durante 24 a 72 h. Para cada sitio de muestreo, se determinó la tasa de sedimentación diaria, expresada como la masa sedimentada por unidad de área y por los días de recesión de los eventos de crecida a los que estuvo expuesta (kg/m²día). La clasificación granulométrica del suelo se realizó de acuerdo a la norma ISO 14688-1 (2017), clasificando el suelo en gravas (Gr), arena gruesa (cSa), arena media (mSa), arena fina (fSa) y finos (F). La tasa de sedimentación diaria y la composición granulométrica del suelo sedimentado fue comparado por grupo, de acuerdo al tiempo de exposición a crecidas y a los índices de vegetación.

Tiempo exposición durante crecidas

La altura de escurrimiento fue determinada mediante diferencias de presión, entre un sensor sumergido en el lecho del río y uno expuesto a presión atmosférica. Conocida la altura de escurrimiento en el tiempo y la elevación de los sitios de muestreo, se determinó el tiempo de inmersión durante el periodo de estudio. A partir de los hidrogramas, se identificaron los tiempos correspondientes a recesión de cada uno de los eventos de crecida.

4. RESULTADOS

Vegetación

De los 36 sitios muestreados, 9 (25.0%) sitios correspondieron a “sin vegetación”, 15 (41.7%) a “renovales” y 12 (33.3%) “árboles”.

Las especies presentes en las riberas del río pertenecieron a los géneros *Salix* (nombre común Sauce), *Acacia* (nombre común Aromo) y *Populus* (nombre común Álamo). Los individuos pertenecientes a especies de éstos géneros ocupan la ribera secuencialmente *Salix*, *Acacia* y *Populus*, desde el *thalweg* del cauce, como muestra la Figura 3.

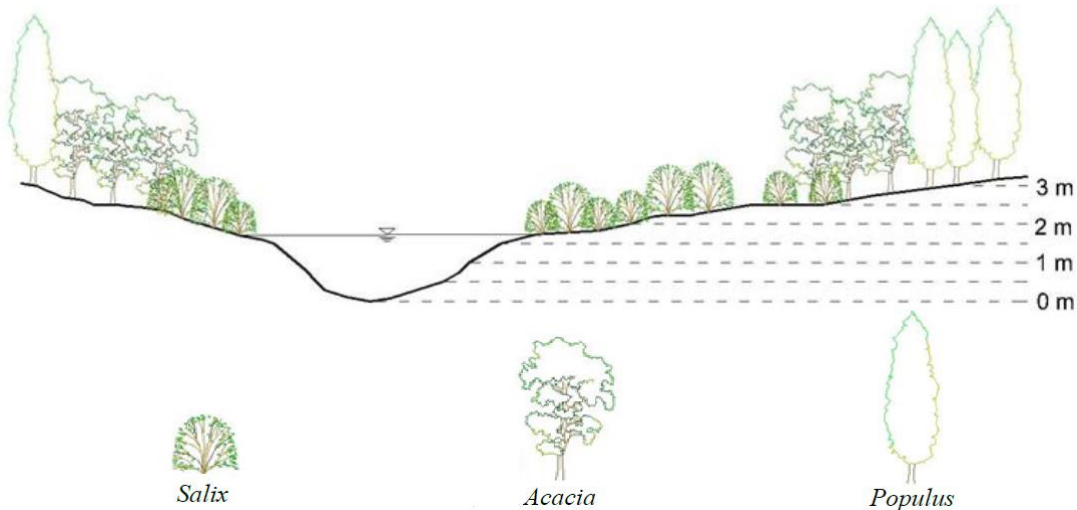


Figura 3. Sección hipotética del río Carampangue y la distribución de su vegetación ribereña.

En los sitios de muestreo de tasas de sedimentación, el género *Salix*, fue el género predominante. Se caracteriza por un rápido nivel de crecimiento y colonización de riberas e islas fluviales. Estuvo representado por las especies *Salix babylonica* (sauce llorón) que es una especie introducida, originaria de China y *Salix humboldtiana* (sauce chileno) que es la única especie del género nativa en Chile, teniendo su hábitat entre las regiones de Arica a La Araucanía (INFOR, 2015).

Tiempo de exposición durante crecidas

La Figura 4 se indica la elevación respecto al *thalweg* de los distintos sitios de medición y el tiempo sumergido durante el periodo de estudio.

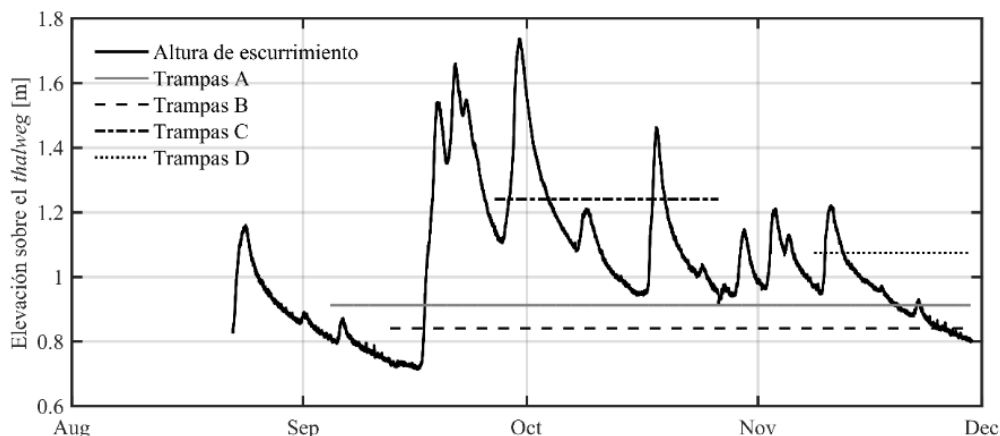


Figura 4. Altura de escurrimiento y cota de sitios de medición en el periodo de estudio

La Tabla 2 muestra los sitios de muestreo, especie predominante, diámetro medio, índice de vegetación, tiempo de exposición durante crecidas (días sumergidos, y días de recesión de la crecida), tasa de sedimentación diaria y composición granulométrica.

Tasa de sedimentación

La tasa de sedimentación diaria promedio en los sitios de muestreo fue de $1.45 \text{ kg/m}^2\text{día}$ con un rango de variación entre 0.25 y $9.27 \text{ kg/m}^2\text{día}$. La comparación de tasas de sedimentación entre grupos con distinto tiempo de exposición durante crecidas muestra un ligero aumento para los grupos C ($1.62 \text{ kg/m}^2\text{día}$) y D ($2.39 \text{ kg/m}^2\text{día}$), en comparación con A ($0.45 \text{ kg/m}^2\text{día}$) y B ($0.78 \text{ kg/m}^2\text{día}$), que estuvieron expuestos por mayor tiempo. Por otra parte, al comparar la tasa de sedimentación diaria entre sitios agrupados por índice de vegetación, se evidencia una disminución en la tasa de sedimentación ante la presencia de árboles (sin vegetación: $2.61 \text{ kg/m}^2\text{día}$, renovales: $1.34 \text{ kg/m}^2\text{día}$ y árboles: $0.75 \text{ kg/m}^2\text{día}$). Sin embargo, ambas observaciones no son estadísticamente significativas (Figura 5).

Composición granulométrica

La composición granulométrica de las muestras sedimentadas está principalmente compuesta por 67% (8-89%) de partículas finas (finos y arenas finas). Se puede apreciar una menor componente de partículas gruesas 33% (10-91%, gravas, arenas gruesas y arenas medias). La composición entre grupos con distinto tiempo de exposición durante crecidas no muestra tendencias concluyentes (Figura 6). Esto puede ser explicado por la distinta cantidad de sitios sin y con vegetación en cada uno de los grupos, como se observa en la Tabla 2. Al comparar la composición granulométrica del sedimento según el índice de vegetación se observan tendencias estadísticamente significativas (Figura 7), la disminución de la fracción gruesa (sin vegetación 53%, renovales 28%, árboles 25%), el aumento de la fracción fina (sin vegetación 47%, renovales 72%, árboles 75%) conforme aumenta el índice de sedimentación.

Tabla 2. Sitios de muestreo, especie predominante, diámetro medio, índice de vegetación tiempo de exposición durante crecidas, tasa de sedimentación diaria y composición granulométrica.

Grupo	Especie Predominante	Diámetro medio [mm]	Índice Veg.	Días Sum.	Días Rec.	Tasa diaria [kg/m2/día]	Granulometría [%]				
							Gr	cSa	mSa	fSa	F
A	Salix B.	7	R	61,7	43,8	0,56	5	31	36	23	6
	Salix H.	0	SV			0,71	0	23	36	31	10
	Salix H.	25	A			0,50	1	23	53	17	5
	Salix B.	30	A			0,31	1	4	9	50	35
	Salix B.	30	A			0,25	1	3	12	61	25
	Salix B.	30	A			0,39	0	2	11	68	19
B	Salix B.	21	A	67,6	48,3	0,36	1	8	12	38	42
	Salix H.	33	A			0,51	0	3	11	62	24
	Salix H.	7	R			0,38	1	5	18	57	19
	Salix H.	7	R			0,55	0	2	12	66	19
	-	0	SV			2,34	1	21	69	7	1
	Salix B.	21	A			0,28	1	4	10	49	36
	Salix B.	21	A			0,25	1	6	10	28	54
	Salix H.	33	A			1,72	1	33	1	55	10
	Salix H.	7	R			0,63	0	2	17	61	19
C	Salix H.	25	A	6,2	4,8	2,72	0	11	35	43	11
	Salix H.	25	A			0,73	0	2	11	36	52
	-	0	SV			0,95	0	4	14	41	41
	Salix H.	13	R			2,74	0	4	43	42	11
	Salix H.	13	R			0,39	0	1	13	39	46
	Salix H.	7	R			1,32	0	3	12	58	27
	Salix H.	13	R			0,27	0	5	16	28	52
	Salix H.	7	R			0,30	0	3	7	23	66
	-	0	SV			4,43	1	13	50	28	7
	-	0	SV			2,26	1	31	26	29	13
	D	Salix H.	7			R	2,1	1,5	0,44	1	10
-		0	SV	1,14	3	9			21	33	34
Salix H.		6	R	9,25	0	12			53	31	4
-		0	SV	1,84	3	10			32	33	21
-		0	SV	1,12	2	9			22	36	31
Salix H.		13	R	0,28	0	7			20	28	44
Salix H.		7	R	0,29	1	11			12	27	47
-		0	SV	8,70	1	23			49	20	7
Salix B.		7	R	2,04	0	5			13	55	26
Salix H.		25	A	0,50	1	5			13	36	45
Salix H.		13	R	0,63	0	6			12	35	47

(SV: sin vegetación; R: renovales; A: árboles)

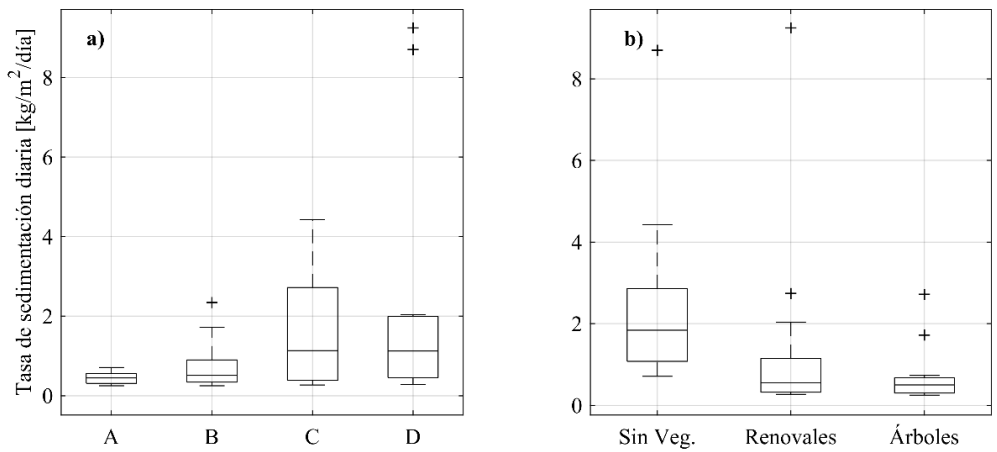


Figura 5. Tasa de sedimentación diaria según tiempo de exposición durante crecidas (a), e índice de vegetación (b).

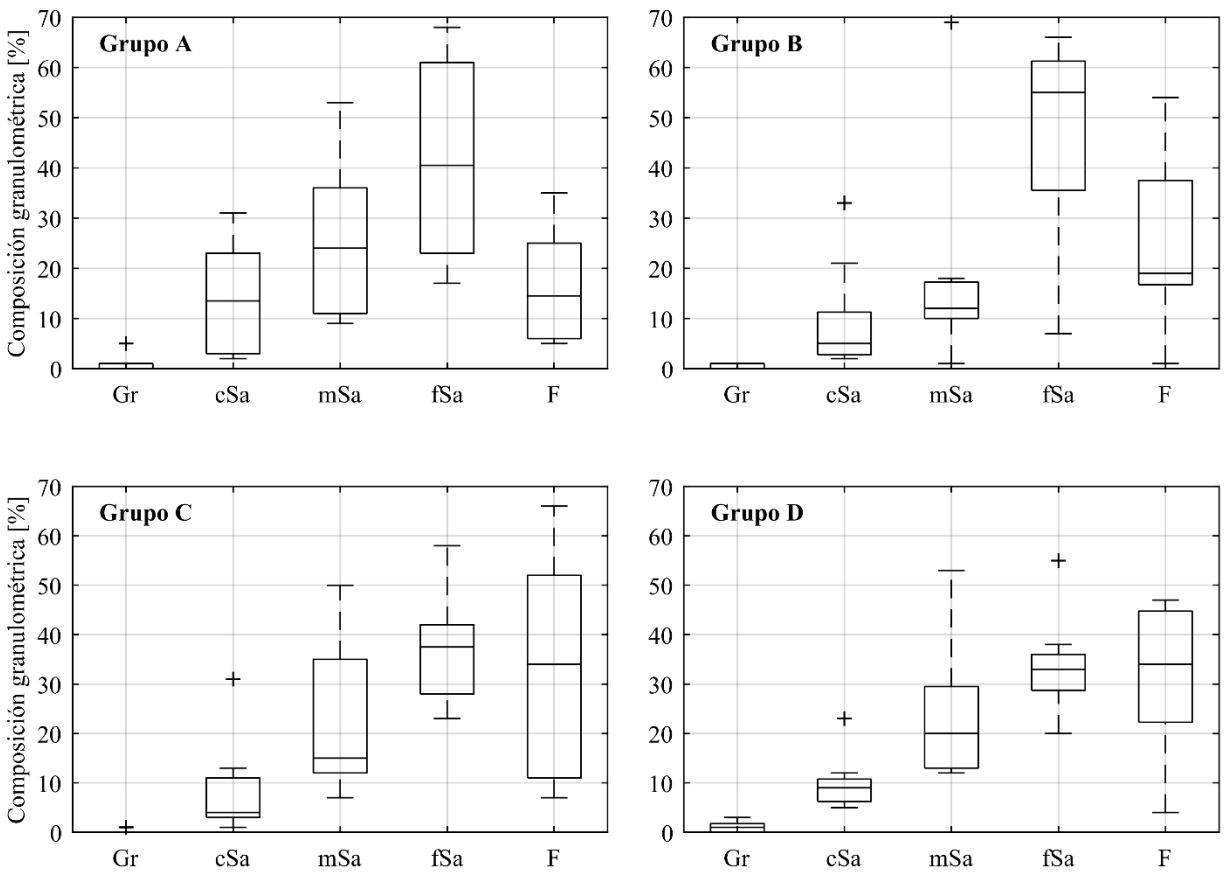


Figura 6. Composición granulométrica según tiempo de exposición durante crecidas.

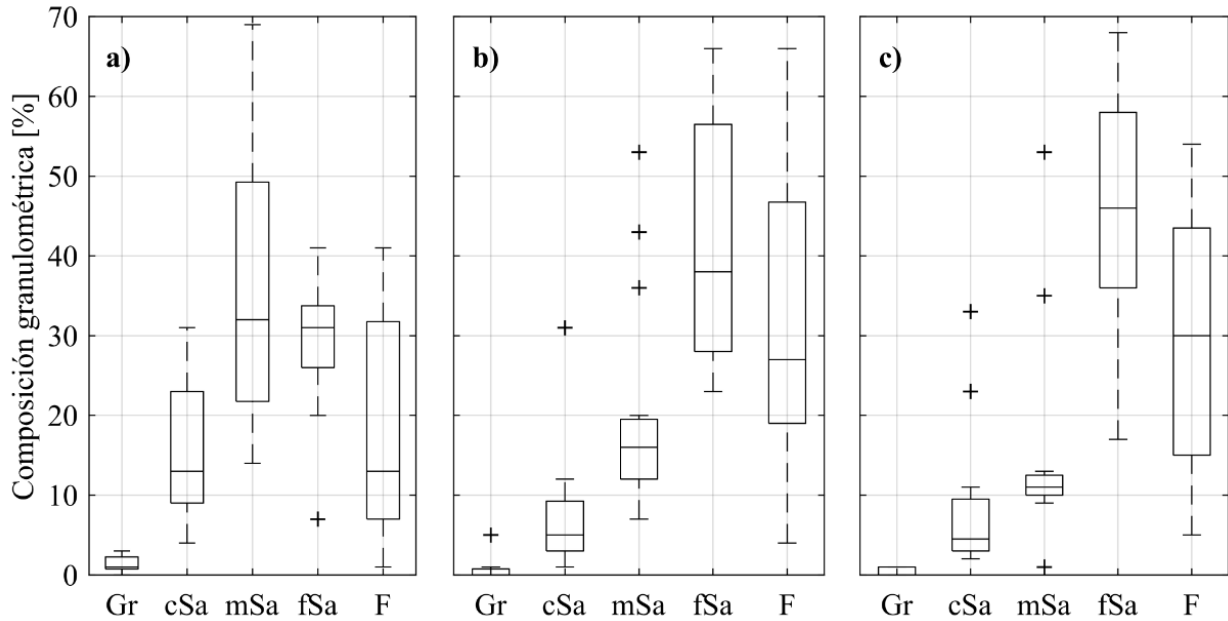


Figura 7. Composición granulométrica de las muestras según índice de vegetación: sin vegetación (a), renovales (b), árboles (c).

5. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Se observó que la proporción de la fracción fina del sedimento depositado aumenta con la vegetación, siendo 47%, 72% y 75% para sitios sin vegetación, con renovales y con árboles, respectivamente.

Los resultados expuestos permiten hipotetizar que la acreción del lecho en sitios con presencia de vegetación se debe principalmente a la composición granulométrica del suelo sedimentado, y no a la cantidad de sedimento depositado. Así, la granulometría de los suelos sedimentados confiere más estabilidad a sitios vegetados. La vegetación ribereña prefiere sustratos con mayor fracción de finos ya que facilita la colonización.

Destaca la presencia de la especie nativa *Salix humboldtiana*, que podría utilizarse para controlar de forma efectiva la migración lateral del cauce, permitiendo a su vez, conservar los beneficios ecosistémicos que proporcionan los ríos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al proyecto PREGA “Hidro-geomorfología del tramo inferior del río Carampangue” NP4503152513 por el financiamiento de este estudio.

REFERENCIAS

Bennett, S., Wu, W., Alonso, C., y Wang, S. (2008). Modeling fluvial response to in-stream woody vegetation: Implications for stream corridor restoration. *Earth Surface Processes Landforms*, 33(6), 890–909.

Blanco-Garrido, F., López-Albacete I., Herrera-Grao A., F. Magdaleno Más y Martínez R. (2011) Relación entre vegetación riparia y caudales: Resultados preliminares en tramos fluviales del sur de España. *Actas I Congreso Ibérico Restauraríos 2011*. León. España. Octubre

Camporeale, C., Perucca, E., Ridolfi, L., y Gurnell, A. (2013). Modelling the interactions between river morphodynamics and riparian vegetation. *Reviews of Geophysics*, 51, 379-414

Collins, B., Montgomery, D., Fetherston, K., y Abbe, T. (2012). The floodplain large-wood cycle hypothesis: a mechanism for the physical and biotic structuring of temperate forested alluvial valleys in the North Pacific coastal ecoregion. *Geomorphology*, 139–140, 460–470

Corenblit, D., Steiger, J., Gurnell, A., y Naiman, R. (2009). Plants intertwine fluvial landform dynamics with ecological succession and natural selection: a niche construction perspective for riparian systems. *Global Ecology and Biogeography*, 18(4), 507–520

Datry, T., Boulton, A. J., Bonada, N., Fritz, K., Leigh, C., Sauquet, E., Dahm, C. N. (2018). Flow intermittence and ecosystem services in rivers of the Anthropocene. *Journal of applied ecology*, 55(1), 353-364.

Elosegi, A. y J. Diez (2009) La vegetación terrestre asociada al río: El bosque de ribera. En A. Elosegi y S. Sabater. *Conceptos y técnicas en la Ecología fluvial*. Fundación BBVA. Bilbao

Gretener, B., y Strömquist, L. (1987). Overbank Sedimentation Rates of Fine Grained Sediments. A Study of the Recent Deposition in the Lower River Fyrisån. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 69(1), 139–146.

Gurnell, A. (2014). Plants as river system engineers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(1), 4–25.

Gurnell, A., Petts, G., Hannah, D., Smith, B., Edwards, P., Kollmann, J., ...Tockner, K. (2001). Riparian vegetation and island formation along the gravel-bed Fiume Tagliamento, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(1), 31–62.

Gurnell, A., Bertoldi, W., y Corenblit, D. (2012). Changing river channels: the roles of hydrological processes, plants and pioneer landforms in humid temperate, mixed load, gravel bed rivers. *Earth Science Reviews*, 111, 129–141.

Gurnell, A., Rinaldi, M., Belletti, B., Bizzi, S., Blamauer, B., Braca, G., ...Ziliani, L. (2016). A multi-scale hierarchical framework for developing understanding of river behaviour to support river management. *Aquatic Sciences*, 78(1), 1–16.

INFOR (2015). El Sauce Chileno (*Salix Humboldtiana* Willd) en la Región del Biobío y su Uso Potencial en Bosques Plantados. Instituto Forestal Chile. Informe Técnico N° 202.

Ishikawa, Y., Sakamoto, T., y Mizuhara, K. (2003). Effect of density of riparian vegetation on effective tractive force. *Journal of Forest Research*, 8(4), 235–246.

ISO. (2017). Geotechnical investigation and testing - Identification and classification of soil - Part 1: Identification and description. ISO 14688-1.2017. International Organization for Standardization

Jeldres, F. (2018) Efecto de especies arbóreas invasoras en la morfología del río Carampangue. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción.

- Lambert, C., y Walling, D. (1987). Floodplain Sedimentation : A Preliminary Investigation of Contemporary Deposition within the Lower Reaches of the River Culm, Devon, UK. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 69(3/4), 393–404.
- Liu, D., Diplas, P., Hodges, C., y Fairbanks, J. (2010). Hydrodynamics of flow through double layer rigid vegetation. *Geomorphology*, 116(3–4), 286–296
- Pollen-Bankhead, N. y Simon, A. (2010) Hydrologic and hydraulic effects of riparian root networks on streambank stability: Is mechanical root-reinforcement the whole story? *Geomorphology*, 116(3–4), 353– 362
- Prosser, I., Dietrich, W., y Stevenson, J. (1995). Flow resistance and sediment transport by concentrated overland flow in a grassland valley. *Geomorphology*, 13, 71–86.
- Rowiński, P., Västilä, K., Aberle, J., Järvelä, J., & Kalinowska, M. (2018). How vegetation can aid in coping with river management challenges: A brief review. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 18(4), 345–354.
- Simm, D., y Walling, D. (1998). Lateral variability of overbank sedimentation on a Devon flood plain. *Hydrological Sciences Journal*, 43(5), 715–732.
- Steiger, J., y Gurnell, A. (2002). Spatial hydrogeomorphological influences on sediment and nutrient deposition riparian zones: Observations from the Garone River, France. *Geomorphology*, 49(1), 1–23.
- Steiger, J., Gurnell, A., Ergenzinger, P., y Snelder, D. (2001). Sedimentation in the Riparian zone of an incising river. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(1), 91–108.
- Walling, D., y Bradley, S. (1989). Rates and Patterns of Contemporary Floodplain Sedimentation : A Case Study of the River Culm, UK. *GeoJournal*, 19(1), 53–62.