



**Universidad Austral de Chile**  
Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales

**Dinámica en los patrones de almacenamiento de madera de gran tamaño bajo un escenario de una crecida de alta intensidad.**

Patrocinante: Sr. Andrés Iroumé

Trabajo de Tesina presentado como parte de los requisitos para optar al Título de **Ingeniera en Conservación de Recursos Naturales**

**ROMINA LEONOR PULGAR SEPÚLVEDA**

VALDIVIA  
2025

## Índice de materias

Página

i	Calificación del Comité de Titulación	i
ii	Resumen	ii
1	INTRODUCCIÓN	1
2	ESTADO DEL ARTE	3
2.1	Hidrología	3
2.2	Morfología	5
2.3	Dinámica de LW y WJ	6
3.	METODOS	8
3.1	Área de Estudio	8
3.2	Metodología	9
3.2.1	Caracterizar la hidrología mediante los registros de caudal y eventos de crecida significativas.	9
3.2.2	Caracterizar la morfología identificando cambios en las unidades morfológicas.	9
3.2.3	Calcular y comparar las dimensiones y volumen de madera.	11
3.2.4	Analizar la relación entre las características de la madera y los cambios morfológicos e hidrológicos, evaluando su impacto en la distribución y dinámica de la madera.	12
3.2.4.1	Volumen de madera en relación con caudales	12
3.2.4.2	Dinámica de la madera almacenada en WJ	13
4	RESULTADOS	13
4.1	Caracterizar la hidrología mediante los registros de caudal y eventos de crecida significativas.	13
4.2	Caracterizar la morfología identificando cambios en las unidades morfológicas.	16
4.3	Calcular y comparar las dimensiones y volumen de madera.	20
4.3.1	Análisis estadístico	20
4.3.2	Regresión lineal	22
4.3.3	Numero y volumen de madera	23
4.3.4	Orientación de la madera	25
4.3.5	Posición de la madera	38
4.4	Analizar la relación entre las características de la madera y los cambios morfológicos e hidrológicos, evaluando su impacto en la distribución y dinámica de la madera.	30
4.4.1	Volumen de madera en relación con caudales	30
4.4.2	Dinámica de la madera almacenada en WJ	31
5	DISCUSIÓN	37
6	CONCLUSION	42
7	BIBLIOGRAFIA	44
8	ANEXO	48

## Calificación del Comité de Titulación

	<b>Nota</b>
Patrocinante: Sr. Andrés Iroumé Arrau	<u>6,7</u>
Informante: Sr. Alberto Paredes	<u>6,4</u>
Informante: Sta. Karla Sánchez	<u>6,5</u>

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el Reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.



---

Sr. Andrés Iroumé Arrau

## Resumen

La madera de gran tamaño (LW) desempeña un papel crucial en los corredores fluviales, influenciando la dinámica hidráulica, morfológica y ecológica de los ríos. Los LW pueden encontrarse de forma individual o en acumulación de madera (WJ). Sucesos de alta intensidad como eventos meteorológicos extremos, erupciones volcánicas, pueden alterar la hidráulica del flujo de agua, modificando los patrones de reclutamiento, almacenamiento y movilidad de la madera. El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de las características hidrológicas y morfológicas en un segmento del río Nilahue sobre la dinámica y patrones de distribución de madera de gran tamaño durante el periodo 2021-2023. Se caracterizó la morfología fluvial y se compararon características y dimensiones de la madera en distintas crecidas de caudal. Los resultados muestran que la dinámica de cada tramo del río estuvo determinada por sus características locales: sectores como Contrafuerte, con una morfología más dinámica, presentaron mayor rotación de WJ, mientras que zonas como Nilahue pre confluencia mostraron estabilidad, evidenciando una menor capacidad de retención. Además, la orientación y compactación de los WJ también influyeron en su estabilidad, siendo más resistentes aquellos con estructuras perpendiculares al flujo. Se observó que eventos de crecida de caudal breves pero intensos favorecen la remoción de estructuras existentes, mientras que caudales prologados tienden a generar reorganizaciones de WJ. En conjunto, los resultados confirman parcialmente la hipótesis del estudio: aunque las crecidas ( $>200 \text{ m}^3/\text{s}$ ) actuaron como principal fuerza motriz en la movilidad de la madera, las morfología local del canal modula los patrones de retención y redistribución. Esto resalta la importancia de considerar umbrales hidrológicos y características morfológicas en la gestión de recursos fluviales para mitigar riesgos y mantener la estabilidad de madera en el río Nilahue. Esta investigación se desarrolló en el marco del proyecto ANID/FONDECYT regular 1200079.

# 1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas fluviales de alta montaña son sistemas complejos y dinámicos resultado de una serie de interacciones entre el régimen hídrico, suministro de sedimentos y vegetación ribereña. Es precisamente esta vegetación ribereña la que provee de madera que se almacena y transporta a lo largo de los ríos cumpliendo un rol importante en la geomorfología y ecología de estos ecosistemas. Dos elementos importantes de la vegetación que se ven involucrados en este contexto son la madera de gran tamaño (*Large Wood*, de ahora en adelante “LW”) y las acumulaciones de dicha madera (*Wood Jam*, de ahora en adelante “WJ”). Las funciones ecológicas de la madera en los ríos incluyen: aportes de nutrientes y materia orgánica al sistema, creación de microhábitat, incremento en la abundancia y riqueza de comunidades acuáticas y cambios en la conectividad del río. En la geomorfología, la madera interacciona con el flujo longitudinal, vertical y lateral del agua, también influye en el régimen de sedimentos que entran al canal activo, conduciendo a cambios graduales en la forma del cauce. Los factores que influyen en las entradas y salidas de madera dentro de un segmento de río abarcan procesos tanto físicos como biológicos o una combinación de ambos. Estos factores dependen del contexto climático y geográfico de la zona estudiada, también se incluyen las dinámicas de bosques, laderas, redes fluviales, fondos de valles, dinámica de canales y actividades de la biota.

El contexto climático actual está aumentando la frecuencia de perturbaciones extremas en los ecosistemas montañosos, el aumento de la temperatura produce el deshielo temprano de la nieve, que alternadamente con los eventos de lluvia extremas generan deslizamiento de tierra y crecidas de caudales que sobrepasan la capacidad de contención del cauce. Durante crecidas de caudal de alta magnitud, pueden llegar a movilizarse grandes cantidades de LW y desestabilización de WJ, generando potenciales peligros para los servicios ecosistémicos, la vida humana e infraestructura como puentes y presas, por esto es importante cuantificar la carga de LW y WJ con la finalidad de prevenir y reducir los peligros asociados como la erosión del cauce y riesgo de inundaciones de alta intensidad.

Por lo mencionado anteriormente han surgido múltiples estudios que han contribuido en el conocimiento de la dinámica del balance de LW bajo diversos contextos, determinando que la morfología, hidrología y composición del bosque de las llanuras aluviales son factores importantes que regulan el balance de LW en los ríos, ejemplo de lo anterior es la relación entre las dimensiones de la madera, el ancho y profundidad del canal para que se permita el movimiento de la madera hacia aguas abajo. Pero una de las lagunas del conocimiento de la dinámica de madera es la influencia geomórficas y

de los caudales en el movimiento y transporte de LW y WJ.

En Chile los ecosistemas montañosos presentan características climáticas muy particulares debido a la altitud y la latitud en la que se encuentran, específicamente en la región de los Ríos se presenta una estacionalidad bien definida con inviernos muy fríos y lluviosos, y veranos con presencia de deshielo. El río Nilahue se encuentra localizado en la región de los ríos, en las cercanías del complejo volcánico Puyehue – Cordón Caulle, el cual registra su última erupción en el año 2011, alterando los flujos de corriente y vegetación a lo largo del valle superior de la cuenca (río Nilahue y río Contrafuerte). Se ha monitoreado un segmento del río desde 2021 hasta 2023 cada 6 meses aproximadamente, en una observación de 2022 se registra un aumento relevante en la cantidad de madera a lo largo del segmento, presuntamente vinculado con crecidas de caudal. Estos cambios despertaron el interés por investigar cómo una inundación poco común y de gran magnitud impacta un río de montaña como el Nilahue.

A partir de los antecedentes descritos, se observa relevante indagar en el nivel de importancia de los factores que están involucrados en la estabilidad y movilidad de madera. Por esta razón se postula como pregunta de investigación: ¿Cuáles son los factores que más influyen en la estabilidad y movilidad asociados en la dinámica y distribución de madera de gran tamaño? Tomando en cuenta esta pregunta, se plantea la siguiente hipótesis: las características hidrológicas, como el caudal máximo y la frecuencia de eventos de alta intensidad, tienen un mayor impacto en la estabilidad y movilidad de LW en el río Nilahue que la morfología del río.

El objetivo de este estudio es analizar el efecto de las características hidrológicas y morfológicas en un segmento del río Nilahue sobre la dinámica y patrones de distribución de LW durante el periodo 2021-2023. La obtención de esta información será de gran utilidad para comprender las variaciones del volumen de madera en ríos de montaña, siendo un aporte a la prevención y monitoreo de los peligros asociados al transporte y carga de madera en la cuenca de Nilahue.

#### Objetivos específicos:

- i. Caracterizar la hidrología mediante los registros de caudal y eventos de crecida significativas.
- ii. Caracterizar la morfología identificando cambios en las unidades morfológicas.
- iii. Calcular y comparar las dimensiones y volumen de madera.
- iv. Analizar la relación entre las características de la madera y los cambios morfológicos e hidrológicos, evaluando su impacto en la distribución y dinámica de la madera.

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. Hidrología

Los ríos pueden estar vinculados a caudales regulares anuales o a fenómenos extremos que moldean sus cauces, y estas relaciones pueden cambiar debido a condiciones climáticas, alteraciones de la vegetación o impactos humanos como la construcción de presas. Las inundaciones, que ocurren cuando un curso de agua es incapaz de transportar la cantidad de esorrentía que fluye aguas abajo, se pueden representar en hidrogramas que muestran la magnitud y duración del evento. (Fryirs y Brierley 2013).

La Figura 1, muestra un hidrograma idealizado para varias etapas de un evento de caudal, presentando la descarga en el eje Y, y el tiempo en el eje X. “Baseflow” es el caudal medio de un cauce, causado por el drenaje lento del agua al suelo. Etapa 1, “Flood pulse”, es el primer aumento del caudal por encima de las condiciones de caudal base. Etapa 2, “Rising stage”, ocurre un aumento brusco del volumen de agua transportada por un canal y el flujo se vuelve más turbulento. Etapa 3, “Bankfull stage”, el canal se llena hasta la parte superior de las orillas (sin derramarse en la llanura de inundación). En esta etapa se maximiza la eficiencia del flujo (es decir, se minimiza la pérdida de energía). Etapa 4, “Overbank stage”, el flujo se derrama sobre la llanura de inundación, disipando la energía. Las depresiones de la llanura de inundación, como los canales abandonados, son las primeras zonas que se inundan. Etapa 5, “Flood peak”, es el punto más alto de la inundación y se alcanza el máximo de volumen de agua. Etapa 6, “Falling stage”, es el retroceso de las aguas de la crecida hacia las condiciones del caudal base (Fryirs y Brierley 2013).

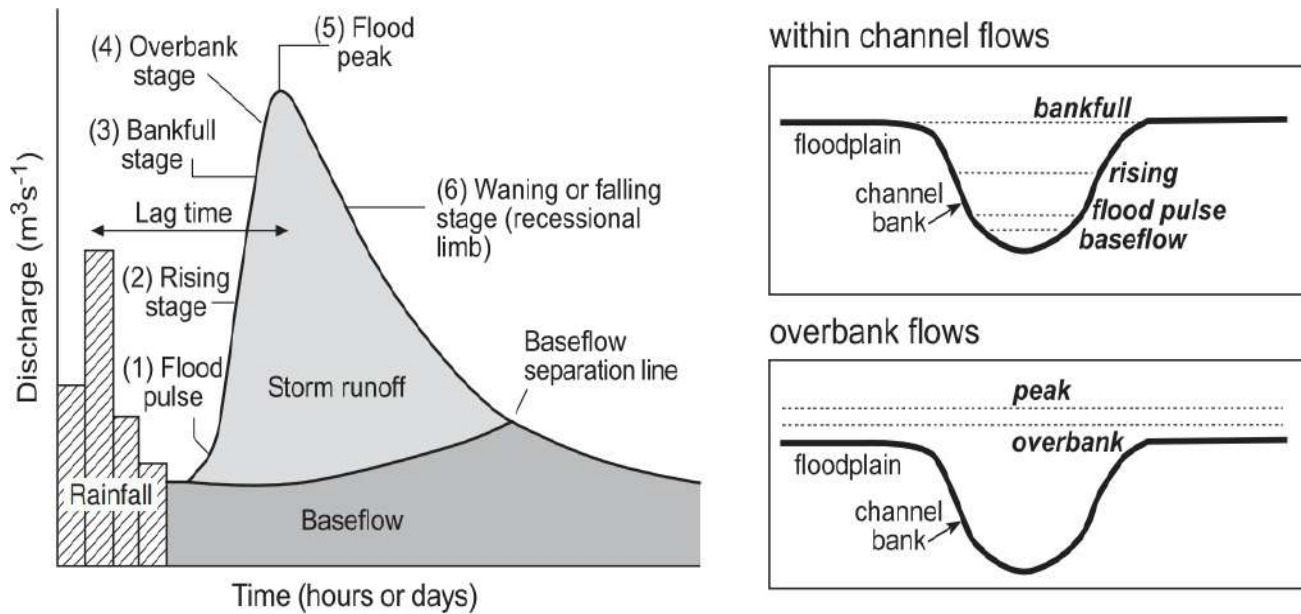


Figura 1. Etapas de caudal en un hidrograma. Extraído de Fryirs y Brierley (2013).

El régimen de inundaciones, principalmente la magnitud y frecuencia de inundaciones relativamente grandes, es un factor importante en la dinámica de los sistemas aluviales, la estructura de los bosques ribereños y la carga de madera (Wohl *et al.* 2019). En este sentido la duración de los flujos, es decir de las inundaciones, es un factor importante que controla la movilidad de LW (Iroumé *et al.* 2018). Por otro lado, los niveles peligrosos de LW en ríos de montaña, que pueden generar grandes daños en la infraestructura y en la vida humana, ocurren solo durante eventos de alta magnitud (Comiti *et al.* 2016).

En los últimos años, se ha estudiado la dinámica, el flujo y el movimiento de LW y WJ con los registros de descargas, encontrando que el arrastre y el flujo de la madera son mayores por encima de cierto umbral de descarga o a medida que aumenta la frecuencia de los flujos elevados (Iroumé *et al.* 2018, Kramer y Wohl 2014). Wohl y Scamardo (2020) estudiaron las influencias sobre la distribución longitudinal de las acumulaciones y la resiliencia de los patrones de distribución longitudinal a inundaciones de magnitud variable. Demostraron que la densidad de distribución promedio de WJ aumenta significativamente a medida que aumenta la relación entre el ancho de la llanura aluvial y el ancho del canal y a medida que aumenta la relación entre la longitud promedio de los troncos y el ancho del canal. Por otro lado, Ruiz-Villanueva *et al.* (2016) simularon el transporte de madera bajo distintos escenarios de inundación por medio de modelos y demostraron que el máximo de transporte de madera generalmente se alcanza antes del máximo de inundación (Flood peak), y que la tasa de removilización de madera no siempre está correlacionada positivamente con el caudal máximo.

## 2.2. Morfología

Los cambios en la morfología de los sistemas fluviales de montaña dependen en gran parte de la erosión y transporte de sedimento. Estos procesos desencadenan en dos tipos de ajustes, vertical y horizontal, el primero hace referencia al descenso (degradación) o bien a la acumulación de sedimento (agradación) en el canal. La degradación produce una profundización del lecho y suele iniciarse con la reducción de sedimentos en el lecho asociado generalmente por aumento del caudal. La agradación da lugar a cauces menos profundos con una serie de unidades geomórficas deposicionales en el lecho del cauce (Fryirs y Brierley 2013). El segundo ajuste, el horizontal, tiene incidencia en el ancho del canal, y va a depender de la fuerza erosiva que se da por la interacción de altas descargas de caudal con la pendiente. Por otro lado, el sedimento será depositado en ciertas áreas del río con menor energía, es decir con menor velocidad de corriente, modificando la geomorfología del río (Gordon *et al.* 1992).

Estos procesos de ajuste y deposición de sedimentos dan lugar a la formación de diversas estructuras geomorfológicas dentro del canal fluvial. Las barras centrales corresponden a una acumulación longitudinal de sedimento dentro del canal activo, y barras laterales son acumulación discretas de sedimento en los bordes de río (Mount 1995). Las islas se definen como unidades morfológicas dentro del canal activo que presentan vegetación arbustiva o leñosa, la que contribuye a la estabilidad de dicha unidad en comparación de barras sin vegetación (Ulloa *et al.* 2018). Estas estructuras son ejemplos concretos de cómo los ajustes verticales y horizontales, junto con la deposición de sedimentos, configuran la morfología de los ríos de montaña.

Por otro lado, existe una fuerte interacción entre la morfodinámica del canal, la deposición de los LW y la removilización de estos en ríos trezados (Bertoldi *et al.* 2014). Mientras que los canales que presentan una dinámica más alta de LW son canales anchos y con una pendiente menos empinada (Iroumé *et al.* 2018).

Las WJ se forman preferentemente en segmentos con menor capacidad de transporte y mayor potencial de captura. El potencial de captura refleja características como la presencia de rocas, barras e islas que sobresalen. Estas aumentan la heterogeneidad espacial y el contacto entre las piezas de madera en el transporte y los límites del canal y, por lo tanto, mejora el potencial de captura y almacenamiento de madera (Wohl y Scamardo 2020). Esto se relaciona con el estudio de Wohl y Iskin (2022), donde corroboran que la capacidad de transporte suele ser mayor en canales trezados que en canales únicos, en otras palabras, se almacena mayor densidad de LW y WJ debido a los obstáculos dentro del canal lo que disipa la energía del agua durante los flujos máximos en especial sobre la llanura. Por otro lado,

además de facilitar la persistencia del atasco, los canales trenzados también facilitan la persistencia del sitio de WJ.

### 2.3. Dinámica de LW y WJ

La dinámica de la madera es un concepto que se refiere a su reclutamiento, transporte, almacenamiento y descomposición (Wohl *et al.* 2019). Los factores que influyen en la dinámica de la madera dentro de un segmento de río abarcan procesos físicos como biológicos o una combinación de ambos. Estos factores dependen del contexto climático y geográfico de la zona estudiada (Andreoli *et al.* 2008).

El reclutamiento de LW está influenciado por diversos procesos y perturbaciones, que determinan la magnitud de la incorporación de la madera en los cauces. Los principales procesos de reclutamiento incluyen: mortalidad del bosque ribereño, erupciones volcánicas, incendios forestales, eventos de tormenta.

La mortalidad del bosque ribereño puede ser producto de procesos naturales como ataques de insectos y enfermedades (Swanson *et al.* 2020). Las erupciones volcánicas con flujo de material piroclástico producen mortalidad masiva y constante movilización de árboles hacia los cauces de agua (Swanson *et al.* 2013). Los incendios forestales pueden acelerar el proceso de reclutamiento debido a la mortalidad masiva, sumándose la caída de árboles muertos en pie (Picco *et al.* 2021). Los eventos de tormenta pueden ocasionar inundaciones y deslizamientos de las laderas, movimientos de flujo de escombros y erosión de las orillas, permitiendo el ingreso de madera a los cauces (Steeb *et al.* 2017).

El transporte y movilización de la madera depende de tres factores: el suministro de madera; las características de la madera como el tamaño, forma y densidad; y las características del río (ej. las dimensiones del cauce); y características geomorfológicas (Gurnell *et al.* 2002). Por otra parte, Wohl *et al.* (2019) mencionan que la geometría del canal como la presencia de curvaturas, expansiones o constricciones del canal y los cambios en la pendiente del canal pueden facilitar o retardar el transporte del LW, añade también como factores las irregularidades de los límites, presencia de presas y praderas de castores. Mientras que Fryirs y Brierley (2013) mencionan que la resistencia que ofrece la madera depende de su orientación, tamaño y densidad/frecuencia en el canal. En relación con el tamaño de LW, la longitud debe ser menor que el ancho del canal y el diámetro debe ser menor que la profundidad promedio del cauce para que se produzca transporte (Martin y Benda 2001). Braudrick y Grant (2001)

definen esta relación entre las dimensiones de LW y las características del río como capacidad de transporte.

El almacenamiento tiene tres características principales: magnitud, duración y modo de almacenamiento. La magnitud es el volumen de madera por unidad espacial, se cuantifica generalmente como la cantidad por hectárea o  $m^3$  por hectárea de LW y WJ (Wohl *et al.* 2019). La mayoría de los estudios se han centrado en la carga de madera en relación con el área de drenaje o el ancho del canal, tanto dentro de una red fluvial como entre redes, pero Gurnell *et al.* (2002) y Wohl (2017) analizaron que estas relaciones son muy variables y se rompen cuando se aplican a datos de múltiples regiones.

La duración se refiere al periodo de tiempo en que las piezas de madera se encuentran dentro del canal activo o en la llanura aluvial. La duración va a depender del tamaño de la madera en relación con el tamaño del canal, la posición de la madera dentro del corredor y la acumulación en atascos, las especies de árboles, el clima y los regímenes de flujo y sedimentos (Wohl *et al.* 2019). Por otro lado, Wohl y Iskin (2022), estudiaron dos conceptos claves relacionados con la duración, que son: persistencia del atasco y persistencia del sitio, el primero se refiere al tiempo que están presentes las acumulaciones en el área de estudio, el segundo concepto hace referencia al tiempo de residencia acumulativa de las acumulaciones que desaparecen y luego se vuelven a formar en el mismo sitio. Relacionado a lo anterior, Ravazzolo *et al.* (2022) estudió la estabilidad, concepto muy relacionado con la duración, de WJ con raíces y sin raíces, corroborando que las raíces conducen a mayor estabilidad en el tiempo.

El modo de almacenamiento se refiere a los patrones de la madera, si se deposita en forma de LW o WJ, la posición y orientación con respecto al flujo (Wohl *et al.* 2019). Abbe y Montgomery (2003) describieron varios patrones de WJ en un río de Estados Unidos, acumulaciones “In-situ”, en las que el miembro clave pertenece al lugar y no es trasladado aguas abajo; “Combined jams”, acumulaciones de elementos claves autóctonos combinados con troncos transportados desde aguas arriba; “Flow deflection jams”, que son acumulaciones laterales en forma de espigón o estribos; “Log-steps” correspondiente a escalones formados por troncos dispuestos en forma transversal a la corriente; y “Valley jams” que son diques que ocupan transversalmente todo el ancho del cauce y de la planicie de inundación.

### 3. MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudio

El área de estudio corresponde a la confluencia entre el río Nilahue y el río Contrafuerte (Lat.-40.4, Lon. -72.1) ubicados en la cuenca de río Bueno, comuna de Lago Ranco, región de Los Ríos, Chile (Figura 2). La confluencia de los ríos se encuentra aproximadamente a 13 kilómetros al norte del complejo volcánico Puyehue – Cordón Caulle. La cuenca del río Nilahue presenta un régimen principalmente fluvial con influencias nival en invierno en la parte alta de la cuenca. El río Nilahue tiene origen en la cordillera de los Andes y fluye hacia el oeste hasta desembocar en el lago Ranco. El río Nilahue tiene un caudal promedio de 25,4 m<sup>3</sup>/s y presenta sus mayores caudales en invierno y en menor medida en primavera, producto de lluvias invernales y deshielos primaverales (DGA 2004).

El río Contrafuerte, afluente del río Nilahue, se encuentra en el sector de Contrafuerte, aproximadamente a 15 kilómetros del cráter del complejo volcánico El Caulle. Presenta un régimen hidrológico similar, con variaciones estacionales influenciadas por precipitaciones y deshielos. La cuenca de ambos ríos abarca una superficie de 128 km<sup>2</sup>, mientras que el área de estudio tiene una superficie de 12,86 ha, 1,47 km de largo, ancho promedio de 70 m y altura de 293 m.s.n.m.

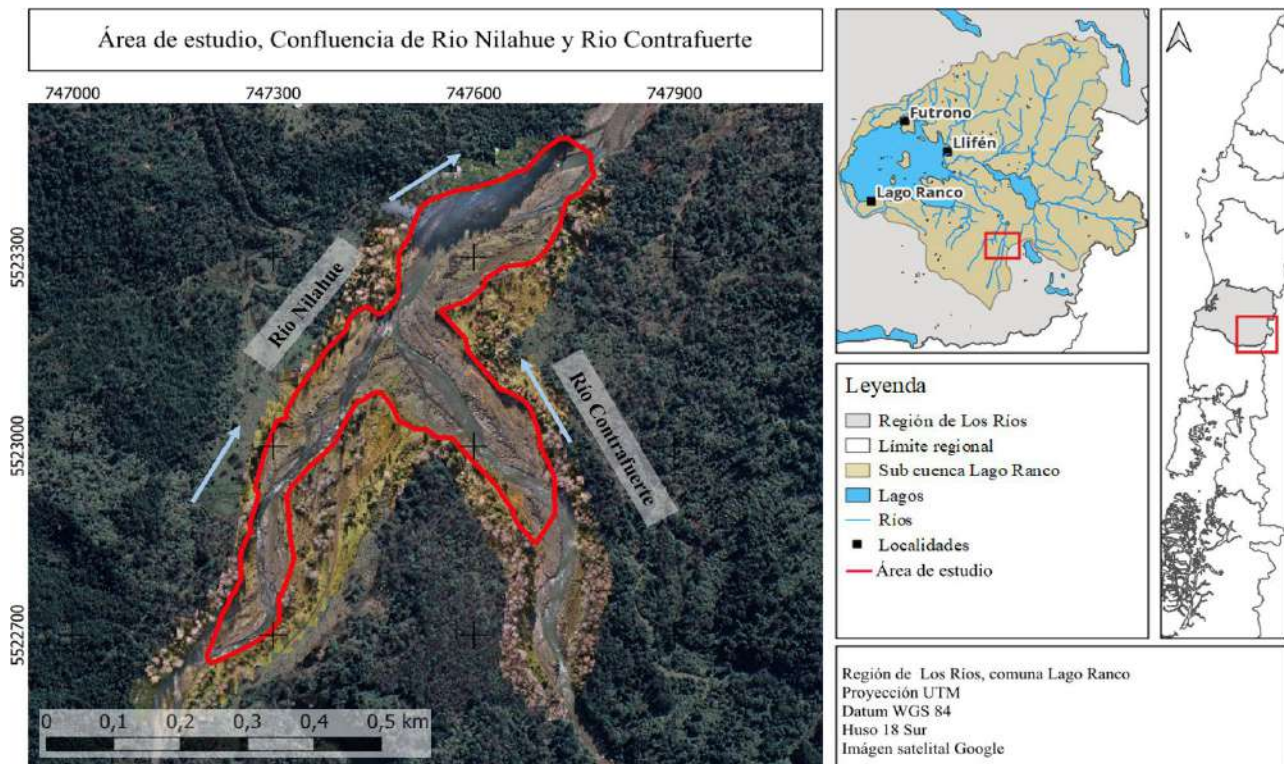


Figura 2. Zona del área de estudio, confluencia del río Nilahue y río Contrafuerte. Las flechas indican la dirección del flujo de agua. Elaboración propia.

En la cercanía del origen del Nilahue se encuentra el complejo volcánico Puyehue – Cordón Caulle, el cual registró su último y más reciente ciclo eruptivo durante los años 2011-2012, el cual comenzó con una fase explosiva con una columna de 15 km, seguido por columnas eruptivas débiles a lo largo de 8 meses. Recién comenzada la erupción se registraron indicios de flujo piroclástico (troncos quemados) descendiendo por el valle superior de los ríos Nilahue y Contrafuerte. La erupción junto con la gran cantidad de sedimentos que se arrastró generó un aumento en el caudal ocasionado la erosión de laderas, sedimentación y modificación en las riberas y lecho del río (Rovira *et al.* 2013). Estos efectos en el paisaje condicionaron fuertemente el reclutamiento de madera en el área de estudio.

### 3.2. Metodología

El estudio de la caracterización hidrológica consistió en el análisis de datos de caudal de la cuenca del río Nilahue. Por otro lado, la caracterización morfológica y de carga de madera se realizó a partir de la digitalización de imágenes de dron.

#### 3.2.1. Caracterizar la hidrológica mediante los registros de caudal y eventos de crecida significativas

Los registros diarios de caudal del río Nilahue se obtienen desde la estación pluviométrica “Río Nilahue En Mayay” (Lat. -40.27, Lon. -72.23), ubicada unos 8 km aguas arriba de su desembocadura en el lago Ranco a 80 m.s.n.m. Los datos se descargaron a través del Sistema Hidrométrico en Línea de la Dirección General de Aguas (DGA). Para definir que un caudal es de alta intensidad en el área de estudio se realizó un análisis de frecuencias de los caudales máximos anual de 13 años disponibles para la obtención de los periodos de retorno a través del software Hidrognomon®.

También se analizó la frecuencia de eventos entre 100-200 m<sup>3</sup>/s, 200-300 m<sup>3</sup>/s y 300-400 m<sup>3</sup>/s, previos a cada fecha de vuelo desde enero de 2021 hasta diciembre de 2023, para determinar la magnitud de las crecidas transcurridas en 2022.

#### 3.2.2. Caracterizar la morfológica identificando cambios en las unidades morfológicas

Se realizaron 7 campañas de muestreo para obtener imágenes de alta resolución a través de vuelos UVAs (vehículos aéreos no tripulados) a una altura de 70 m con el Dron Phantom 4 Pro, el cual posee

una cámara de 20 mpx. Para georreferenciar las imágenes obtenidas se establecieron una serie de puntos de control en terreno (GCP) utilizando el GPS diferencial Trimble R8 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Fechas de vuelos, número de fotos por vuelo y cantidad de GCP por campaña.

Fechas de vuelo	N° de fotos	GCP	Error (m)
Abril 2021	305	79	0,05
Octubre 2021	305	74	0,04
Diciembre 2021	333	74	0,03
Abril 2022	376	68	0,05
Noviembre 2022	355	67	0,05
Junio 2023	271	82	0,01
Noviembre 2023	320	26	0,19

Luego, las fotografías tomadas por el Dron Phantom 4 Pro, se procesaron utilizando el software Agisoft Photoscan® y se georreferenciaron en base a los GCP, obteniendo un error promedio de 0,06 m, consiguiendo así imágenes ortomosaicos y modelos digitales de elevación (DEMs).

Los cambios en la superficie de las unidades morfológicas fueron identificados usando el software QGIS® v3.28.11. Se delimitó el contorno de cada unidad por medio de polígonos utilizando los ortomosaicos y las imágenes DEM de apoyo para visualizar cambios de elevación. Las unidades geomórficas presentes (Figura 3) se clasificaron como barras centrales, barras laterales e islas. La delimitación de las unidades geomorfológicas permitió la identificación del límite del canal activo de cada fecha, se calculó la superficie en hectáreas (Ha), ancho promedio (m) y el cambio en los 3 años del estudio.

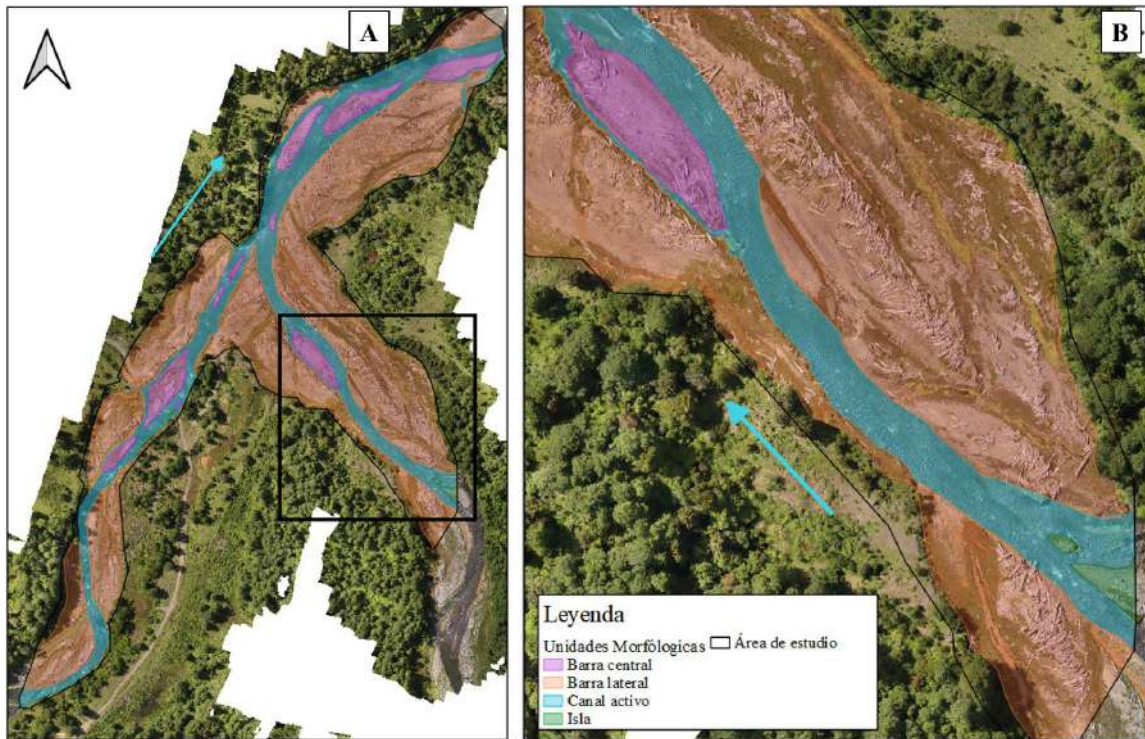


Figura 3. Delimitación de las unidades morfológicas en el área de estudio. A) Área de estudio completa. B) Detalle de las unidades morfológicas en una sección del río Contrafuerte. Las flechas indican la dirección del flujo de agua.

### 3.2.3. Calcular y comparar las dimensiones y volumen de madera

Para dimensionar y calcular el volumen de LW y WJ se siguió la metodología empleada por Iroumé *et al.* (2023), la cual consiste en medir los diámetros y largos de cada LW por medio de polilíneas con el software QGIS utilizando los ortomosaicos como capa base. El volumen de cada trozo de madera se calculó como si estos fuesen un cilindro sólido (Ecuación 1), siguiendo a Sanhuesa *et al.* (2022):

$$V = \pi(D/2)^2 * L \quad [1]$$

Donde V es el volumen de cada LW ( $m^3$ ), D es el diámetro (m) y L el largo (m).

Para determinar el volumen de madera dentro de los WJ, en el software QGIS se marcan los WJ con un punto en el ortomosaicos para calcular las coordenadas norte y este, luego se traza un polígono del contorno de cada acumulación en el mismo software. Estos archivos se exportaron al software Agisoft Photoscan® para obtener la medición del volumen como un sólido por encima del plano.

Los cálculos realizados en Agisoft Photoscan® se calibraron utilizando los volúmenes de WJ medidos en terreno. Para ello, se realizó una regresión lineal (Anexo 1.1) entre el volumen sólido de las acumulaciones y el volumen de WJ en terreno, el cual corresponde a la suma de los volúmenes de los LW que conforman cada WJ (Sanhueza et al. 2022).

Por lo tanto, la ecuación usada para corregir los volúmenes de los WJ medidos en Agisoft corresponde a:

$$\text{Volumen de WJ} = \text{Volumen WJ medido en Agisoft} * \alpha \quad [2]$$

Donde  $\alpha$  es la pendiente obtenida partir de la regresión lineal.

Para determinar si las dimensiones de los LW (largo, diámetro y volumen) cambian a lo largo del estudio se realizó la prueba estadística no paramétrica de Kuskal-Wallis, esta es utilizada para comparar tres o más muestras independientes y determinar si provienen de la misma distribución o si al menos una muestra diferencias estadísticamente significativas respecto a las demás. La prueba Kruskal-Wallis se aplicó en dos periodos, primero, de abril de 2021 a abril de 2022, y luego, considerando todas las fechas, de abril de 2021 a noviembre de 2023, para identificar cambios tras una crecida de caudal de 2022.

También se registraron dos características de la madera, orientación respecto al flujo de agua: paralela, perpendicular y oblicua y posición: dentro del canal, parcialmente en canal, barra lateral, barra central e isla. Para WJ se registró la orientación general de la forma y la orientación interna, es decir, la orientación dominante de los elementos dentro del WJ. Los datos se recopilieron en tablas y gráficos de frecuencia.

3.2.4. Analizar la relación entre las características de la madera y los cambios morfológicos e hidrológicos, evaluando su impacto en la distribución y dinámica de la madera.

3.2.4.1. Volumen de madera en relación con caudales

Se identificaron tendencias en la dinámica del volumen de madera, evaluando su aumento o disminución en relación con los caudales máximos registrados entre las fechas de muestreo y la frecuencia de rangos entre 100-200 m<sup>3</sup>/s, 200-300 m<sup>3</sup>/s y 300-400 m<sup>3</sup>/s.

### 3.2.4.2. Dinámica de la madera almacenada en WJ

Para analizar la dinámica de la madera almacenada en WJ, se identificó la madera entrante, removida y estable, en las tres zonas del área de estudio (Nilahue preconfluencia, Contrafuerte, Nilahue post confluencia). Para realizar los siguientes análisis, las cuatro últimas fechas del estudio se separaron en periodos de fechas consecutivas, es decir: abril 2022 - noviembre 2022, noviembre 2022 – junio 2023, junio 2023 – noviembre 2023.

En el software QSIG se utilizaron las herramientas de geoprocso vectorial de intersección, diferencia simétrica y unión en los polígonos de cada par de fechas consecutivas, permitiendo la delimitación de los cambios espaciales de los WJ. Para cada periodo de fechas, se generaron las siguientes capas: WJ de entrada, correspondiente a los WJ que aparecen en la fecha final del periodo, pero no estaban presentes en la fecha inicial; WJ de salida, aquellos presentes en la fecha inicial que desaparecen en la fecha final; y WJ estables, que se mantienen presentes en ambas fechas analizadas.

Posteriormente con la cantidad de cada categoría (entrada, salida, estable) se calculó el porcentaje de cada categoría en relación con el número total de WJ en la fecha final del periodo.

Los valores obtenidos se organizaron en un gráfico comparativo según las diferentes zonas del área de estudio (Nilahue preconfluencia, Contrafuerte y Nilahue postconfluencia) y los distintos periodos de análisis. Por otro lado, con las capas de polígonos de entrada, salida y estable, se realizaron mapas de la ubicación y cambios de WJ de cada tramo del área de estudio, para representar la movilidad y estabilidad de la madera, así como cambios del canal a lo largo de las últimas cuatro fechas de muestreo.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Caracterizar la hidrología mediante los registros de caudal y eventos de crecida significativas.

Se seleccionaron los caudales máximos anuales para el cálculo del periodo de retorno en el software de Hidrognomon desde el año 2011 hasta el año 2023. En el Anexo 1. 1, se observa la curva de frecuencias de caudales, junto con dos de las distribuciones que más se acercan a la curva empírica, la distribución Pareto y Gev min (L-Moments; Cuadro 2). Se puede observar que los valores más altos de caudal tienen una probabilidad de excedencia menor. Las distribuciones teóricas que más se ajustan a la distribución empírica fueron la distribución Pareto y GEVmin (L-Moments) con un porcentaje de afinidad de 99,73%

y 99,04% respectivamente, con una diferencia a la curva de 0,10 y 0,08 respectivamente.

Cuadro 2. Caudales máximos del río Nilahue por año con el periodo de retorno según Pareto y L-moments GEV Min.

Año	Caudal Máximo anual (m <sup>3</sup> /s)	Periodo de retorno	
		Pareto	L-Moments GEV- Min
2011	221,5	1,50	1,43
2012	387,9	4,62	5,08
2013	336,7	3,07	3,05
2014	546,6	39,13	35,71
2015	175,1	1,19	1,18
2016	130,5	0,97	1,06
2017	234,0	1,61	1,52
2018	231,7	1,59	1,50
2019	338,2	3,10	3,09
2020	368,5	3,92	4,05
2021	178,9	1,21	1,20
2022	288,8	2,22	2,11
2023	377,0	4,21	4,39

Del cuadro 2 se puede extraer que 2014 tiene el periodo de retorno calculado más alto, entre 39,13 y 35,71 años. Por otro lado, para los años de estudio, el caudal de 2021 es más recurrente que los de 2022 y de 2023, y que también el caudal de 2023 se repite cada 4 años aproximadamente.

De manera general se puede observar que, dentro del periodo de estudio, ocurren tres grandes caudales de 288,776 m<sup>3</sup>/s, 298,865 m<sup>3</sup>/s y 377,033 m<sup>3</sup>/s, y los días 29 de junio de 2022, 9 de junio de 2023 y 15 de septiembre de 2023, respectivamente (Figura 4).

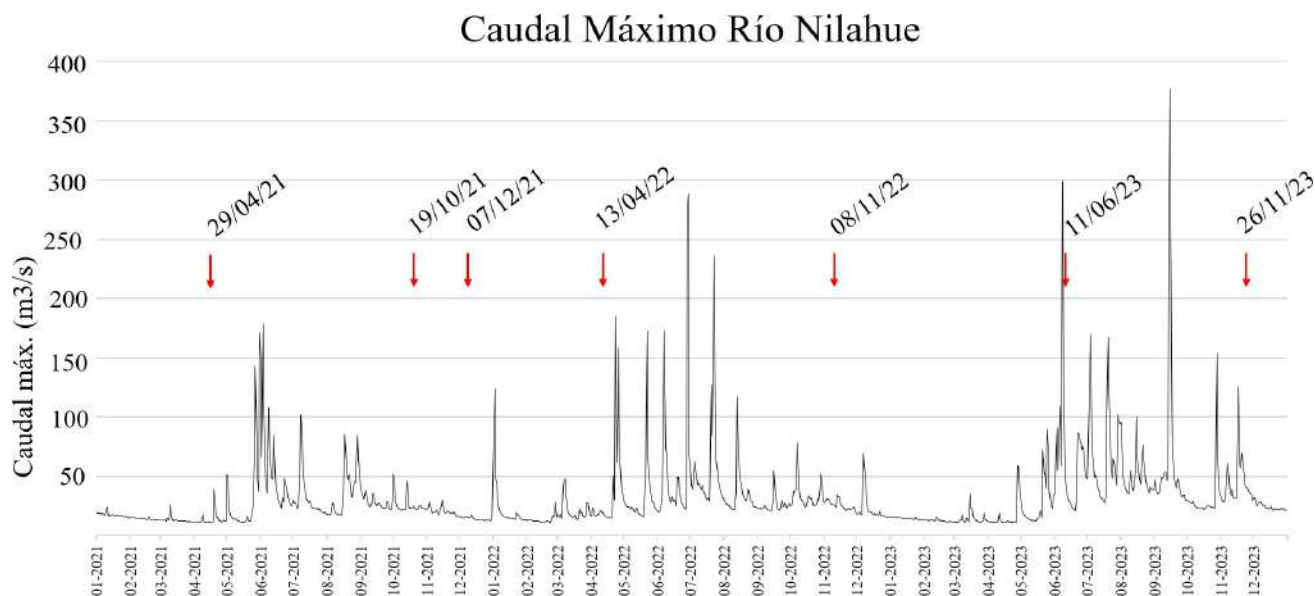


Figura 4. Histograma de caudal máximo del río Nilahue desde 2021 hasta 2023. Las fechas indican los días en que fueron tomadas las fotografías aéreas.

Entre cada fecha de vuelo se cuantificó la cantidad de días en los que el caudal máximo superó cada umbral establecido desde enero de 2021 (Cuadro 3). Se observa que, previo abril de 2022 solo se presentaron eventos entre los 100 – 200 m<sup>3</sup>/s. Mientras que, previo a la fecha de vuelo del 8 de noviembre de 2022 ocurrieron 9 eventos entre 100 - 200 m<sup>3</sup>/s y 3 entre 200 - 300 m<sup>3</sup>/s, repartidos entre finales de abril y agosto de 2022. Esta situación se repite para el 26 de noviembre de 2023, donde ocurrieron 12 eventos ocurren entre julio y noviembre, con 1 evento entre 300 – 400 m<sup>3</sup>/s en septiembre de 2023.

Cuadro 3. Caudal máximo y cantidad de eventos de crecida previos a cada fecha de vuelo por cada umbral

Fecha de vuelo	100 -200 m <sup>3</sup> /s	200 - 300 m <sup>3</sup> /s	300 - 400 m <sup>3</sup> /s	Caudal Máximo previo campana de vuelo (m <sup>3</sup> /s)
29 - abril - 2021	-	-	-	25,69
19 - octubre - 2021	7	-	-	178,85
07 - diciembre - 2021	-	-	-	30,10
13 - abril - 2022	1	-	-	124,03
08 - noviembre - 2022	9	3	-	288,77
11 - junio - 2023	2	1	-	298,86
26 - noviembre - 2023	10	1	1	377,03

Por otro lado, al revisar los últimos eventos importantes antes del periodo de estudio (Anexo 1.2), se identificaron dos caudales relevantes ocurridos en 2020: el caudal máximo anual, registrado en junio con

un valor de 368,5 m<sup>3</sup>/s, y un caudal de 114,2 m<sup>3</sup>/s en julio del mismo año.

#### 4.2. Caracterizar la morfología identificando cambios en las unidades morfológicas.

El cuadro 4 muestra la variación temporal del canal del área de estudio. El ancho medio varía entre 20,4 m y 25,1 m a lo largo del periodo de análisis, registrando un aumento de 3,5 m desde el inicio hasta el final del estudio. La superficie del canal también incrementándose en 0,8 ha. En abril de 2022, se observó el valor más bajo de superficie (2,60 ha), con una disminución del 13% respecto a la fecha anterior, coincidiendo con ancho medio más bajo (20,4 m). En noviembre de 2022, la superficie del canal sufrió el mayor aumento (20%). En las dos últimas fechas, en junio de 2023 y noviembre de 2023, el canal continúa ensanchando, aunque con un porcentaje de cambio menor.

Cuadro 4. Comparación de la morfología del canal en ancho medio (m), superficie (ha) y porcentaje de cambio de la superficie.

Fecha de vuelo	Ancho medio (m)	Superficie (ha)	% de cambio del canal
Abr/2021	21,6	2,87	-
Oct/2021	21,6	3,02	6%
Dic/2021	20,8	2,99	-1%
Abr/2022	20,4	2,60	-13%
Nov2022	21,3	3,12	20%
Jun/2023	24,1	3,44	10%
Nov/2023	25,1	3,67	7%

El Cuadro 5 representa la variación de la superficie en cada unidad morfológica. La superficie de las barras laterales muestra una tendencia a disminuir a lo largo del estudio con una ligera recuperación en la última fecha. Mientras tanto, las barras centrales presentaron un comportamiento fluctuante con un incremento gradual hasta junio de 2023, con el valor más alto de 1,08 Ha. Para noviembre de 2023 su superficie disminuye con un valor similar al presentado en noviembre de 2022. La superficie de las islas disminuye a lo largo de las cuatro fechas, en las que están presentes, luego estas desaparecen del área de estudio.

Cuadro 5. Comparación de la superficie (Ha) de las Unidades Morfológicas a lo largo del estudio

Fecha de vuelo	Barra lateral	Barra central	Isla
Abr/2021	7,99	0,73	0,03
Oct/2021	7,83	0,79	0,02
Dic/2021	7,89	0,91	0,03
Abr/2022	7,90	0,89	0,01
Nov/2022	7,55	0,83	-
Jun/2023	6,95	1,08	-
Nov/2023	7,07	0,84	-

La Figura 5, muestra los cambios en las unidades geomorfológicas a lo largo del periodo de estudio. Entre los primeros ortomosaicos (abril 2021 - abril 2022), se observa que la morfología del canal se mantiene relativamente estable, con algunas variaciones en las barras centrales, las cuales se separan y reincorporan a las barras laterales en ciertos tramos. Posteriormente, en noviembre de 2022, la cantidad de las barras centrales disminuye y algunas desaparecen. Este fenómeno coincide con la expansión del canal activo, que se extiende hacia las zonas bajas de las barras laterales y hacia los brazos del canal que previamente se encontraban inactivos.

Para junio de 2023 se presentan los mayores cambios visuales de las unidades morfológicas. La disminución en la superficie de las barras laterales se puede observar principalmente después de la confluencia de los ríos, donde ocurre la separación de una sección de la barra lateral ubicada en la parte superior derecha. En noviembre de 2023 se puede destacar la fusión de una de las barras centrales, que se había mantenido estable desde el inicio del estudio, con una barra lateral en la parte superior izquierda, causado por el desvío del curso del agua en esta zona.

**Abril 2021**



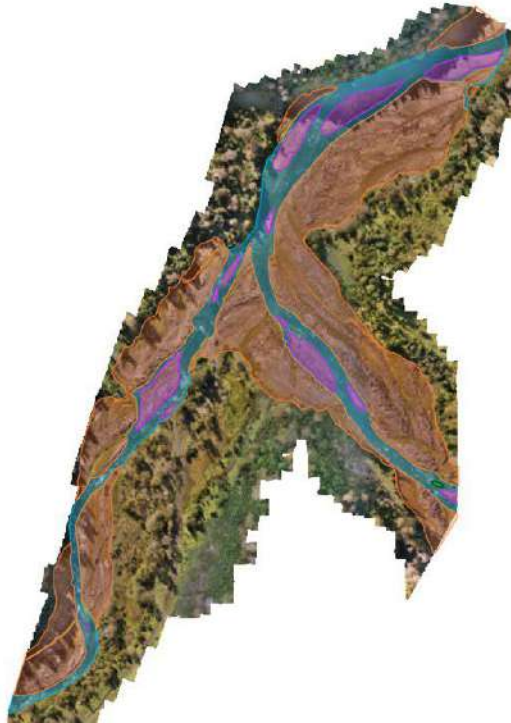
**Octubre 2021**



**Diciembre 2021**



**Abril 2022**



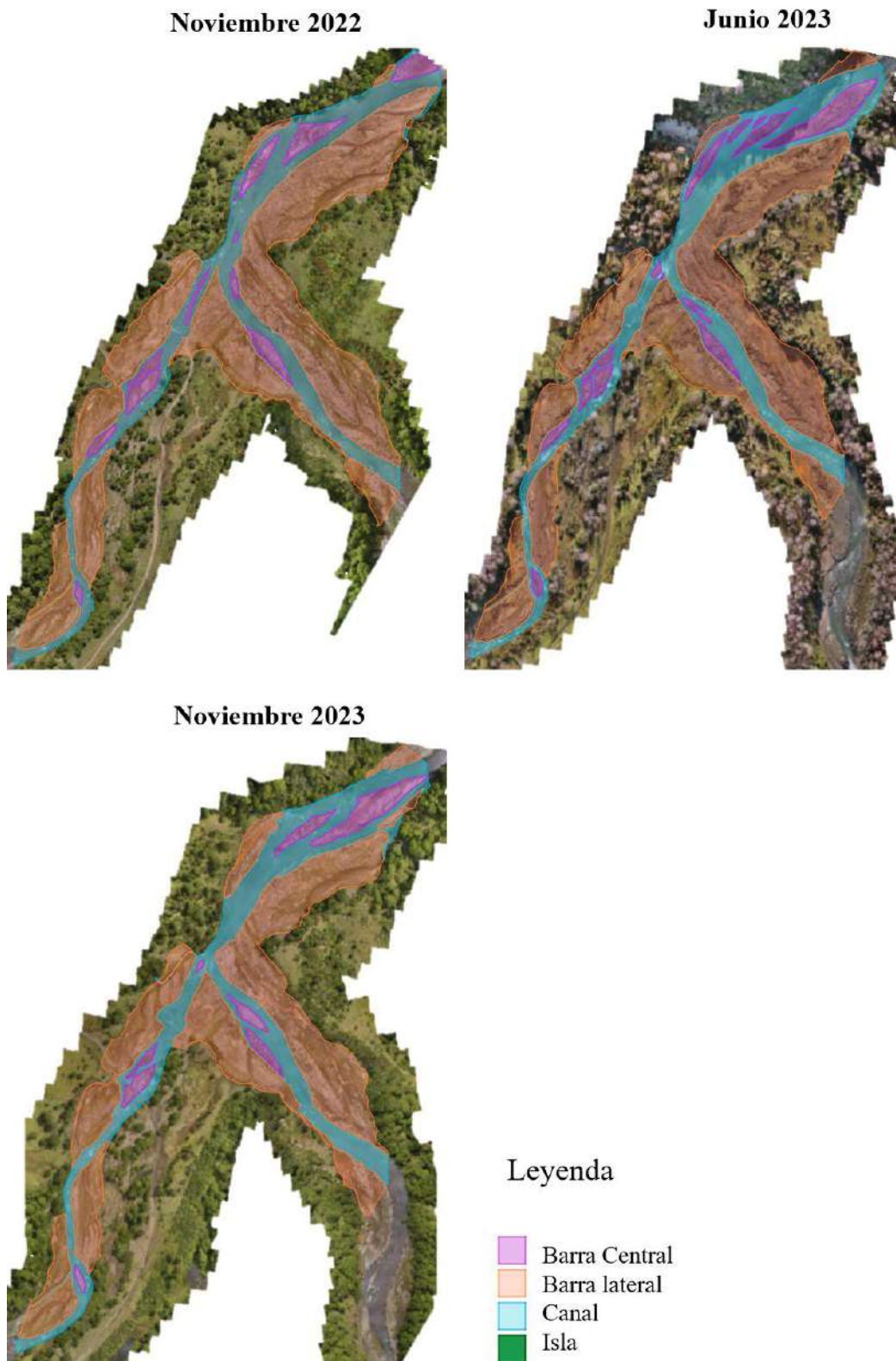


Figura 5. Ortomosaicos que muestran los cambios en las unidades geomorfológicas de 2021 a 2023.

4.3. Calcular y comparar las dimensiones y volumen de madera.

4.3.1. Análisis estadístico

En la Figura 6, se ilustra la comparación del largo de LW entre fechas. En las cuatro primeras fechas la mediana es de 2,16 m aproximadamente. Con la prueba Kruskal-Wallis se determinó que no existe una diferencia estadísticamente significativa ( $p$ -valor  $> 0,05$ ) para los largos desde abril de 2021 a abril de 2022. Por otro lado, en la prueba realizada para todas las fechas si se determinó una diferencia estadísticamente significativa ( $p$ -valor  $< 0,05$ ).

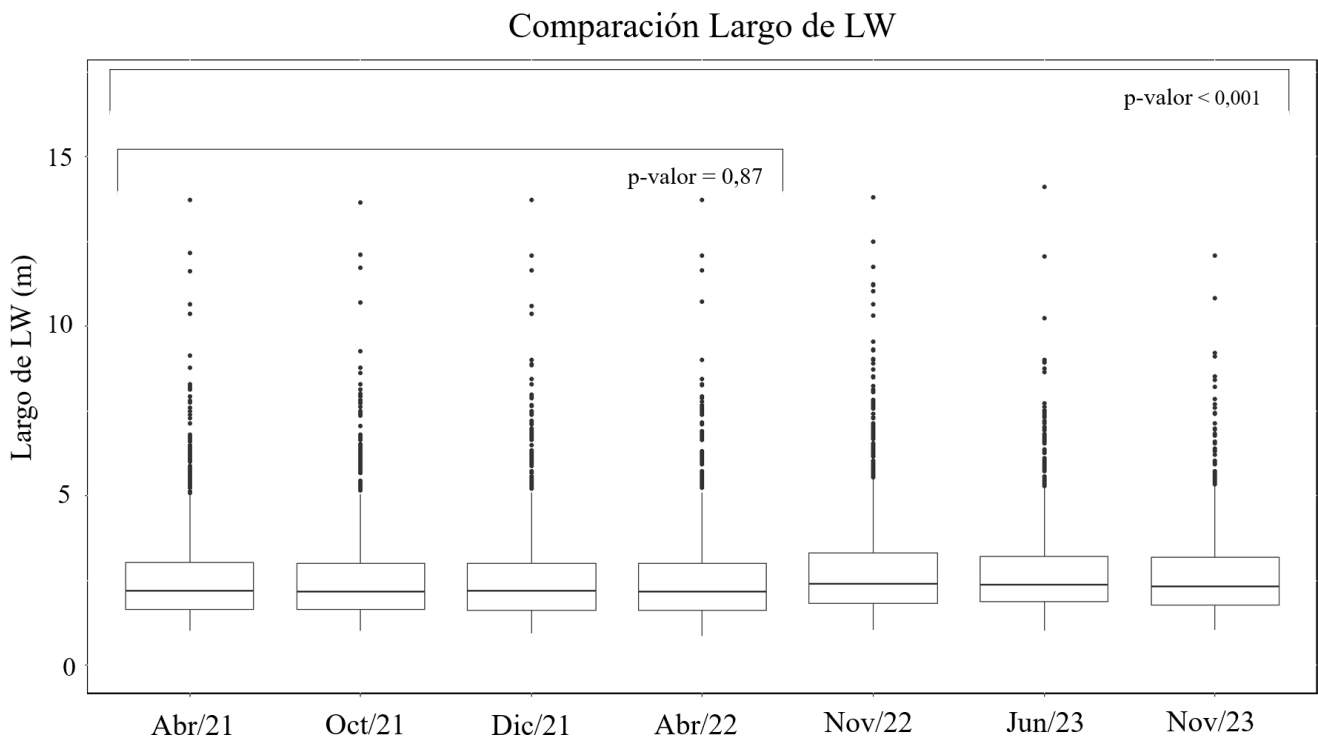


Figura 6. Gráfico de caja y bigotes del largo de LW entre fechas. El  $p$ -valor superior se calculó para todas las fechas y el  $p$ -valor inferior se calculó hasta abril 2022. La parte inferior de la caja indica el primer cuartil, mientras que la parte superior indica el tercer cuartil, la línea dentro del cuadro indica el valor la mediana, los bigotes muestran el valor más alto dentro de  $1.5 * \text{rango intercuartil}$  desde el tercer cuartil y el valor mínimo, mientras que los puntos corresponden a los valores atípicos.

La mediana presenta un leve aumento en la fecha de noviembre de 2022 (2,38 m) respecto a las fechas anteriores, la cual disminuye en las siguientes fechas (Anexo 2. 1). Se evidencia que los largos hasta abril de 2022 son similares entre sí, posteriormente se puede observar un aumento en el tamaño de los largos.

La Figura 7 compara el diámetro de los LW a lo largo de todas las fechas. De acuerdo con la prueba Kruskal-Wallis los diámetros de abril de 2021 hasta abril de 2022 presentan una diferencia estadísticamente significativa ( $p$ -valor  $< 0,05$ ).

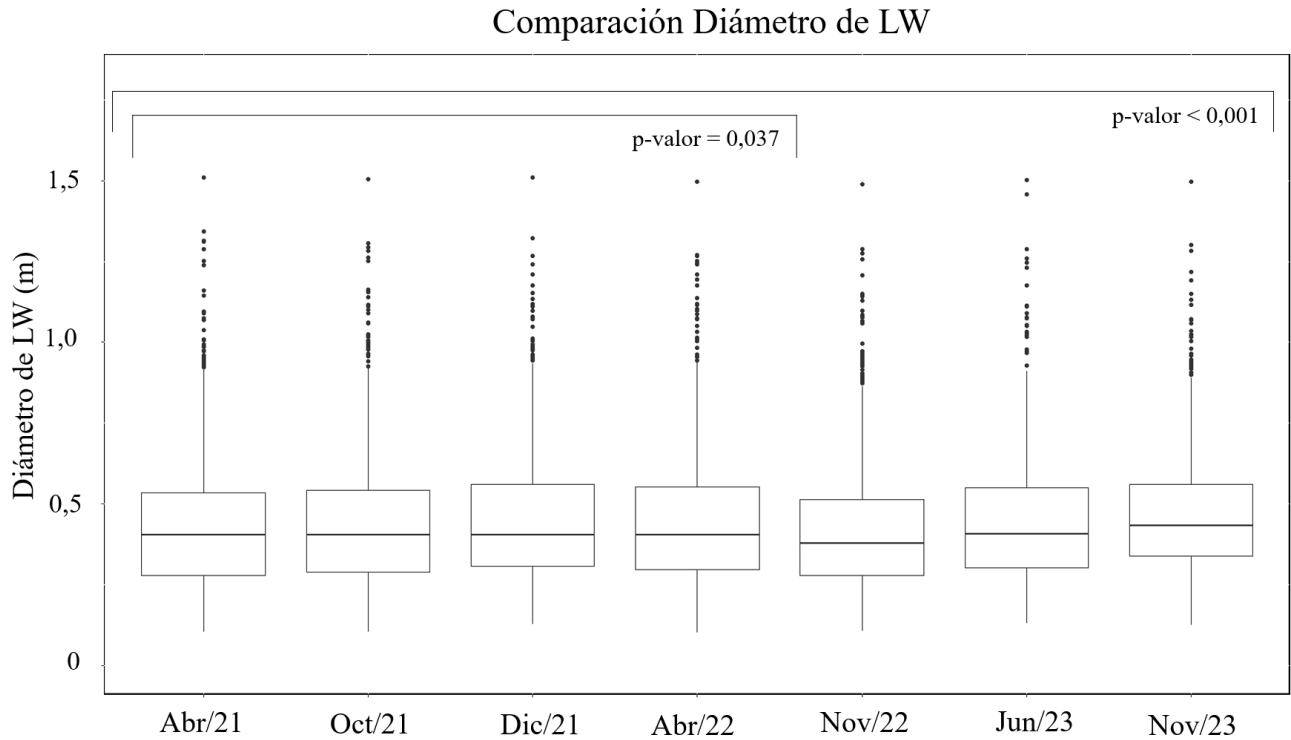


Figura 7. Gráfico de caja y bigotes del diámetro de LW entre fechas. El  $p$ -valor superior se calculó para todas las fechas y el  $p$ -valor inferior se calculó hasta abril 2022. Los gráficos de caja y bigotes se explican en la Figura 6.

Por otro lado, en la prueba realizada para todas las fechas también determinó una diferencia estadísticamente significativa ( $p$ -valor  $< 0,001$ ). Además, también se pudo observar que en noviembre de 2022 se presenta la menor mediana (0,379 m) de todas las fechas, mientras que la mediana más alta se registró en noviembre de 2023 con 0,433 m (Anexo 2. 2).

En la Figura 8 se muestra la comparación del volumen del LW a lo largo de todas las fechas. De acuerdo con la prueba Kruskal-Wallis los volúmenes desde abril de 2021 a abril de 2022 no presentan una diferencia estadísticamente significativa ( $p$ -valor  $> 0,05$ ).

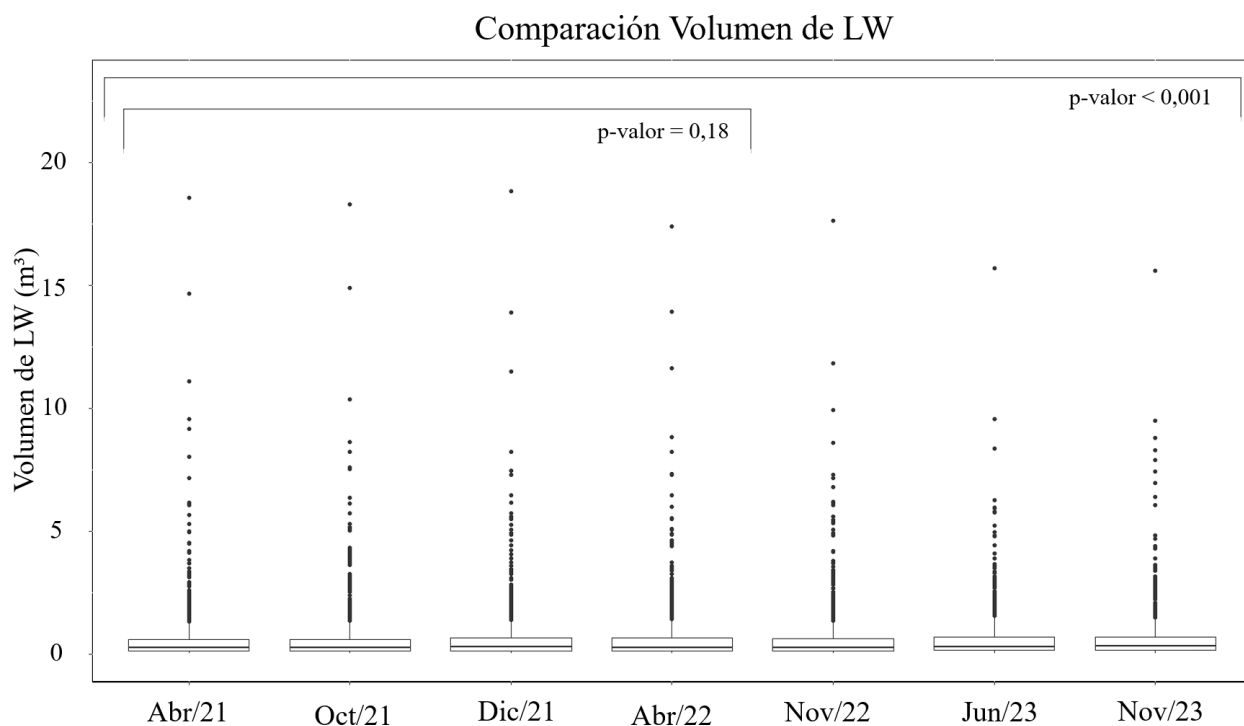


Figura 8. Gráfico de caja y bigotes del volumen de LW entre fechas. El  $p$ -valor superior se calculó para todas las fechas y el  $p$ -valor inferior se calculó hasta abril 2022. Los gráficos de caja y bigotes se explican en la Figura 6.

Por otro lado, en la prueba realizada para la totalidad de las fechas si se determinó una diferencia estadísticamente significativa ( $p$ -valor < 0,001) de los volúmenes. En octubre de 2021 se registró la mediana de volumen más baja del estudio ( $0,263 \text{ m}^3$ ) mientras que en noviembre de 2023 se registró la mediana más alta con  $0,336 \text{ m}^3$ .

#### 4.3.2. Regresión lineal

A continuación, se presenta la figura 9 que muestra la relación entre el volumen de WJ medido en terreno versus el medido en el software Agisoft, a partir de este grafico se obtuvo la pendiente [3]. En el eje horizontal se representa el volumen calculado por el software, mientras que en el eje vertical se muestra el volumen obtenido a partir de mediciones directas en campo. La pendiente de la recta es 0,936 y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es 0,9326, lo que indica una fuerte correlación entre ambos métodos de medición.

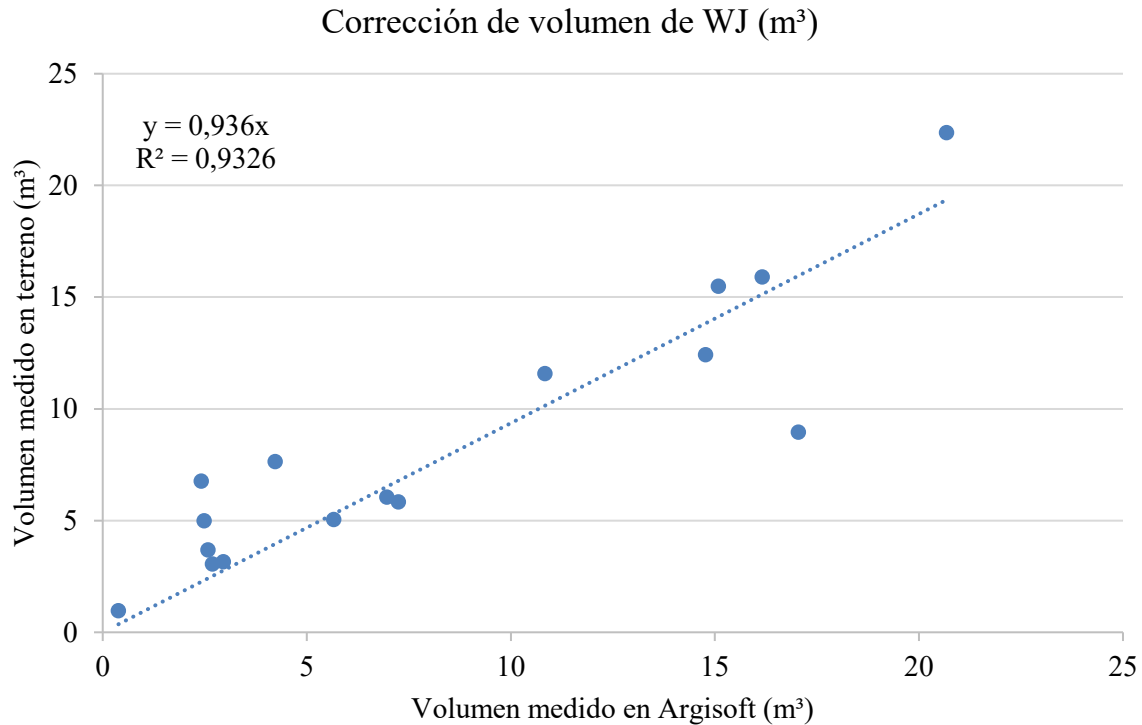


Figura 9. Regresión lineal entre el volumen de WJ medido en terreno y el medido en el software Argisoft.

$$Y = 0,963x \quad [3]$$

#### 4.3.3. Número y volumen de madera

El Cuadro 6 muestra la evolución del número y volumen de LW) y de WJ a lo largo de siete fechas de vuelo. En noviembre de 2022 se registra el mayor número de LW, con 1.238 unidades y un volumen de 752,9 m<sup>3</sup>. Por el contrario, el menor número de LW se observó en junio de 2023, con 714 unidades y un volumen de 481 m<sup>3</sup>. En cuanto a los WJ, el menor número se registra en junio de 2023, con 390 unidades, con un volumen de 3.173,3 m<sup>3</sup>. Sin embargo, el menor volumen total de WJ se presenta en diciembre de 2021, con 2.284,9 m<sup>3</sup>, a pesar de que se contabilizaron 413 unidades.

Cuadro 6. Resumen del número y volumen (m<sup>3</sup>) de LW, WJ y total (en m<sup>3</sup>) para cada fecha de vuelo, en cada columna se destaca el valor mayor en negrita.

Fecha de vuelo	LW		WJ		Volumen Total (m <sup>3</sup> )
	Número	Volumen (m <sup>3</sup> )	Número	Volumen (m <sup>3</sup> )	
Abr/21	1085	664,3	416	2.733,8	3.398,1
Oct/21	1091	680,4	415	2.858,4	3.538,8
Dic/21	1095	693,8	413	2.284,9	2.978,8
Abr/22	1057	651,4	404	3.157,1	3.808,5
Nov/22	<b>1238</b>	<b>752,9</b>	<b>434</b>	3.033,5	3.786,4
Jun/23	714	481,0	390	3.173,3	3.654,2
Nov/23	798	533,8	429	<b>4.541,5</b>	<b>5.075,3</b>

Al analizar el volumen total de madera a lo largo del periodo de estudio, se aprecia una relativa estabilidad hasta junio de 2023, salvo una notable disminución en diciembre de 2021, cuando el volumen total se reduce a 2.978,8 m<sup>3</sup>. Esto se debe a una caída en el volumen de WJ, aunque el número de estos se mantuvo relativamente constante. En contraste, noviembre de 2023 marca un aumento significativo en el volumen total de madera, alcanzando los 5.075,3 m<sup>3</sup>, impulsado por el alto volumen de WJ (4.541,5 m<sup>3</sup>).

En la figura 10 se muestra el porcentaje del volumen de LW y WJ con respecto al total de madera. Se observa que la madera que se encuentra en WJ representa más del 80% del volumen total en todas las fechas menos en 12/21 donde WJ solo alcanza 76,7%. Por otro lado, se puede destacar junio de 2023 y noviembre de 2023 cuando el volumen de WJ abarca el 86,8% y 89,5% del total, respectivamente.

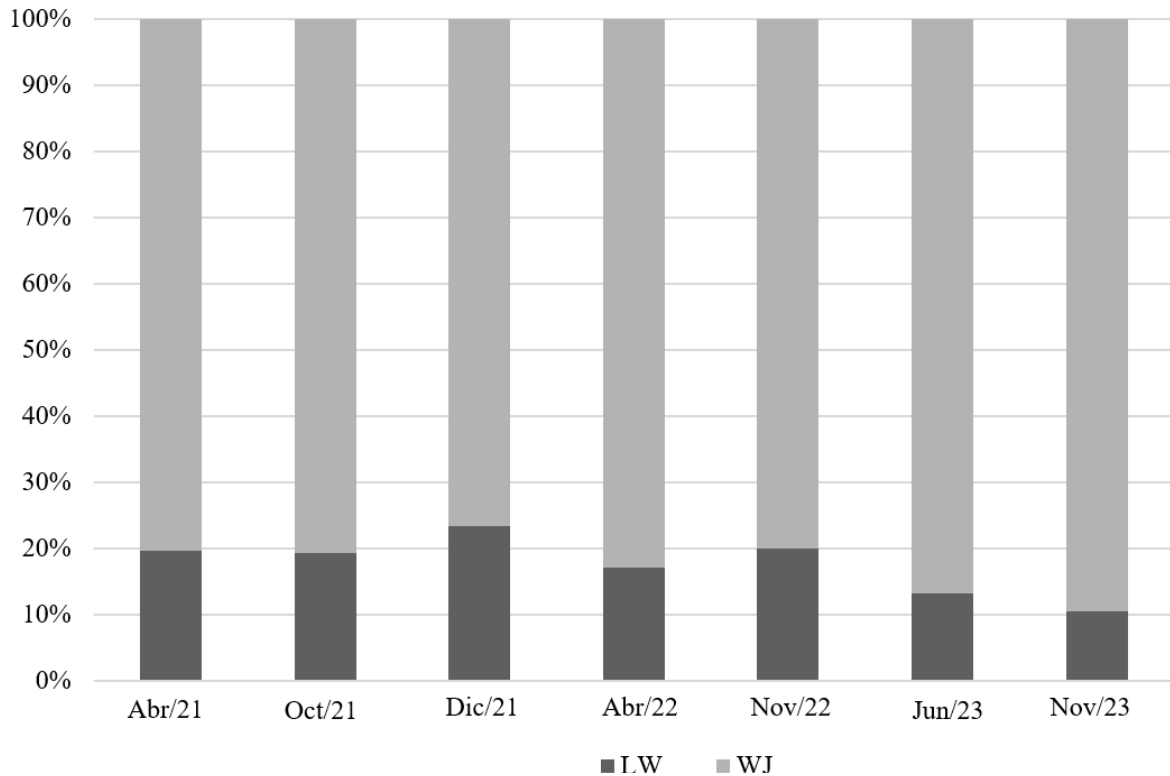


Figura 10. Porcentaje en volumen de WJ y LW con respecto al total de madera en el área de estudio.

#### 4.3.4. Orientación de la madera

La orientación de los LW (Figura 11) fue predominantemente oblicua respecto al canal, seguida por la paralela y la perpendicular. Desde diciembre de 2021, los LW con orientación oblicua aumentaron, alcanzando su máximo en noviembre de 2022, para luego disminuir a partir de junio de 2023. En contraste, las orientaciones paralela y perpendicular aumentaron, mostrando proporciones similares a las de abril de 2022. La orientación perpendicular alcanzó su máximo en noviembre de 2023.

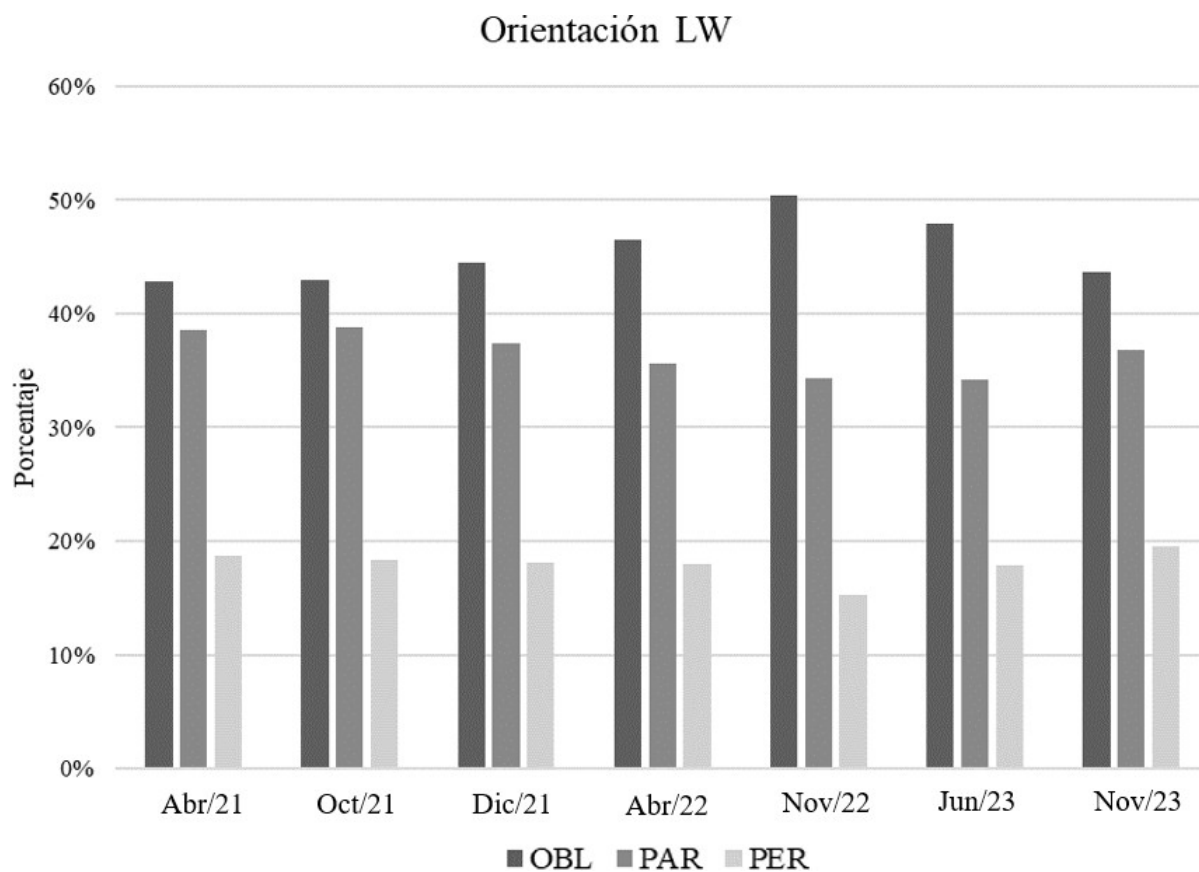


Figura 11. Orientación de LW respecto al canal.

En cuanto a la orientación general de los WJ (Figura 12), predominó la orientación paralela al canal, seguida por la oblicua y luego la perpendicular. Hasta abril de 2022, las proporciones de las orientaciones se mantuvieron equilibradas. A partir de noviembre 2022 los porcentajes en las tres orientaciones fluctúan en gran medida. En junio de 2023, los WJ paralelos alcanzaron su menor porcentaje, sin bajar del 40%, mientras que los WJ oblicuos alcanzaron su máximo en noviembre de 2023.

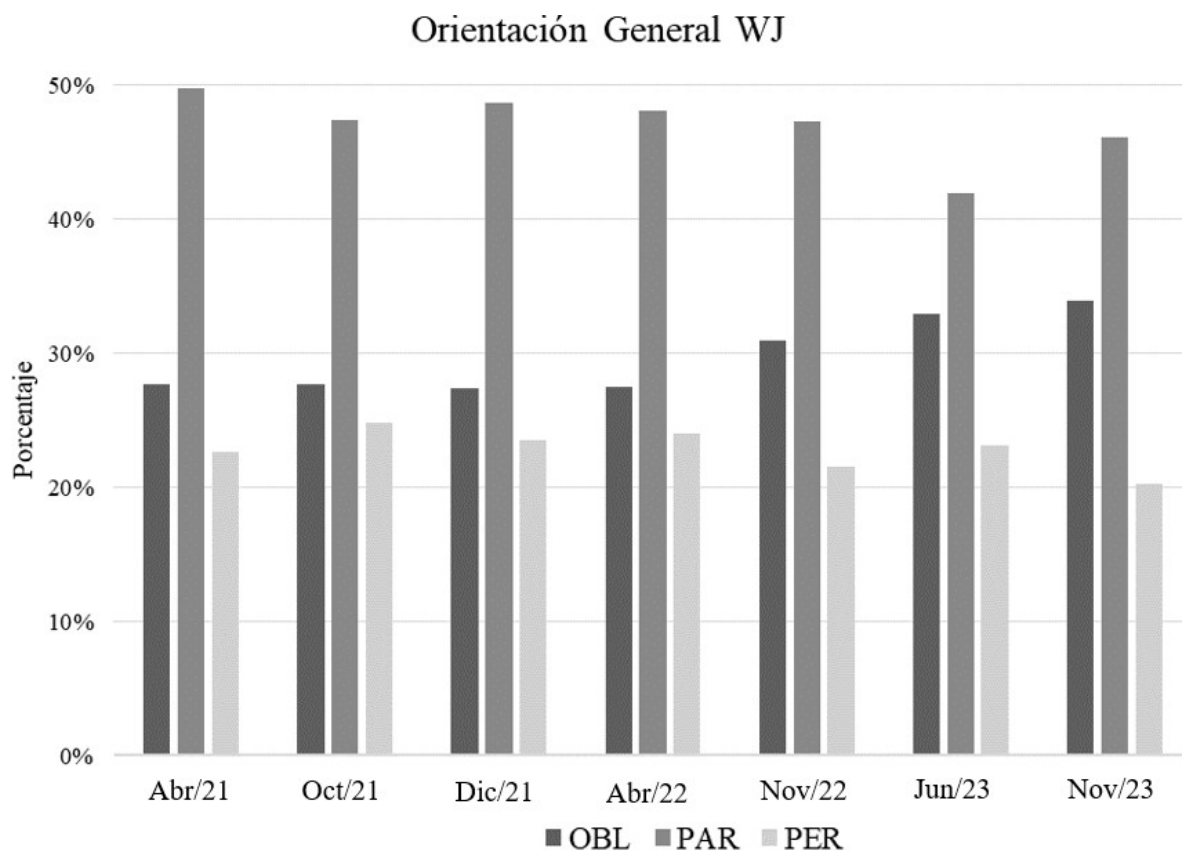


Figura 12. Orientación general de WJ.

La orientación interna de los WJ (Figura 13) fue mayoritariamente oblicua, seguida por la perpendicular y, finalmente, la paralela. A partir de abril de 2022, se observó un aumento en la orientación oblicua, mientras que las orientaciones perpendicular y paralela disminuyeron hasta noviembre de 2023. No obstante, la orientación perpendicular experimentó un leve incremento en esa última fecha.

### Orientación Interna WJ

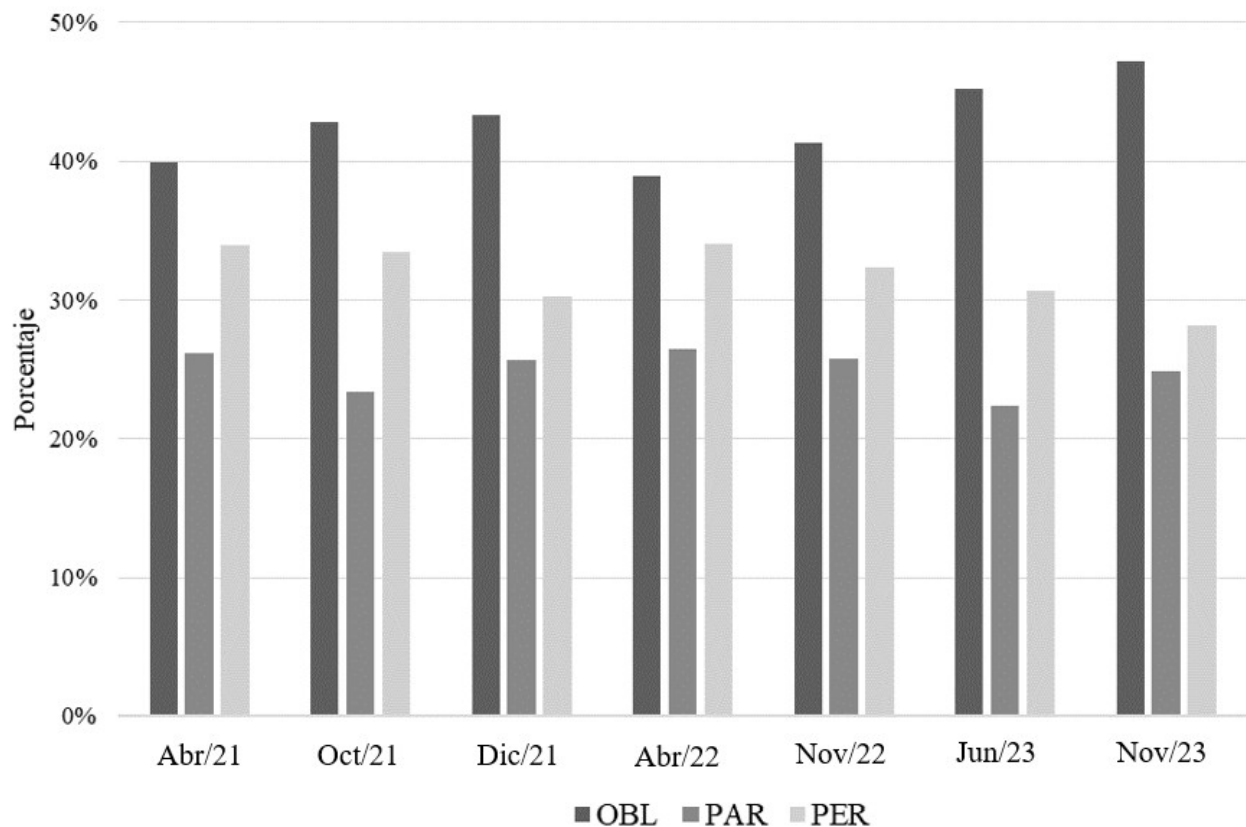


Figura 13. Orientación interna de WJ.

#### 4.3.5. Posición de la madera

El Cuadro 7 muestra que la mayoría de los LW se acumulan en las barras laterales, manteniéndose relativamente estables entre abril de 2021 y abril de 2022, con valores que oscilan entre 905 y 933 unidades. Sin embargo, en noviembre de 2023 aumenta considerablemente a 993, para luego en junio de 2023 una fuerte disminución, con solo 526 unidades, seguido de una leve recuperación a 639 unidades en noviembre de 2023. En las barras centrales, la acumulación de LW es más variable, alcanzando un máximo de 162 unidades en noviembre de 2022, pero disminuyendo drásticamente a 86 unidades para noviembre de 2023.

Cuadro 7. Posición de LW en cada fecha de vuelo.

	Abr/21	Oct/21	Dic/21	Abr/22	Nov/22	Jun/23	Nov/23
Barra lateral	916	914	933	905	993	526	639
Barra central	97	96	107	109	162	114	86
Isla	0	1	1	0	-	-	-
Canal	27	32	19	14	26	31	33
Parcial	45	48	34	29	57	43	40
Total	1085	1091	1094	1057	1238	714	798

En cuanto a los LW ubicados en el canal estos se mantienen bajos durante todo el estudio, con un leve aumento en noviembre de 2023. La posición "Parcial" experimenta fluctuaciones importantes, duplicándose de 29 unidades en abril de 2022 a 57 en noviembre del mismo año, para luego reducir a 43 y estabilizarse en 40 en noviembre de 2023. En contraste, los LW ubicados completamente en islas solo se registran en octubre y diciembre de 2021.

El Cuadro 8 muestra la distribución de los WJ en diferentes posiciones a lo largo del tiempo. Los WJ se concentran principalmente en las barras laterales, aunque a partir de noviembre de 2022 comienzan a disminuir, pasando de 352 en abril de 2022 a 288 en noviembre de 2023. En las barras centrales, los valores se mantienen estables entre 20 y 22 WJ durante las primeras fechas, pero en junio de 2023 se observa un aumento significativo, que continúa en noviembre del mismo año.

Cuadro 8. Posición de WJ en cada fecha de vuelo.

	Abr/21	Oct/21	Dic/21	Abr/22	Nov/22	Jun/23	Nov/23
Barra lateral	356	347	350	352	333	303	288
Barra central	21	21	22	20	21	26	39
Isla	1	1	1	1	-	-	-
Canal	3	4	2	0	2	0	7
Parcial	35	42	38	31	78	61	95
Total	416	415	413	404	434	390	429

La categoría "Parcial", que representa los WJ ubicados tanto en el canal como en otras unidades morfológicas, muestra grandes fluctuaciones. Inicialmente, en abril de 2021, se registran 35 WJ en esta categoría, que aumentan bruscamente a 78 en noviembre de 2022. Aunque en junio de 2023 el número baja a 61, en noviembre del mismo año vuelve a subir a 95 WJ, convirtiéndose en la segunda posición más importante para los WJ. En cuanto a los WJ en el canal y las islas, estos presentan cifras mucho menores. En el canal, el número de WJ varía entre 0 y 7 a lo largo del estudio, mientras que en las islas se observa solo 1 WJ por fecha durante las primeras cuatro mediciones.

4.4. Analizar la relación entre las características de la madera y lo cambios morfológicos e hidrológicos, evaluando su impacto en la distribución y dinámica de la madera.

4.4.1. Volumen de madera en relación con caudales

La Figura 14 muestra la relación entre la intensidad de los eventos de caudal entre fechas de muestreo y las fluctuaciones en el almacenamiento de madera. En octubre de 2021 y abril de 2022 con eventos por debajo de 200 m<sup>3</sup>/s se presentó un aumento del volumen de madera, especialmente en abril de 2022 con un aumento de 829 m<sup>3</sup> tras un solo evento sobre los 100 m<sup>3</sup>/s. En diciembre de 2021 no se presentaron eventos sobre los 100 m<sup>3</sup>/s, pero si se presenta una disminución significativa de 560 m<sup>3</sup>. A pesar de que en noviembre de 2022 ocurrieron 12 eventos significativos el volumen de madera solo disminuye en 22 m<sup>3</sup>. En junio de 2023 ocurrieron 3 eventos (2 entre 100 y 200 m<sup>3</sup>/s y 1 entre 200 y 300 m<sup>3</sup>/s), la madera disminuye en 132 m<sup>3</sup>. Por último, previo noviembre de 2023 es el único periodo con 1 evento sobre 300 m<sup>3</sup>/s, y muestra un aumento de 1.421 m<sup>3</sup> respecto a la fecha anterior.

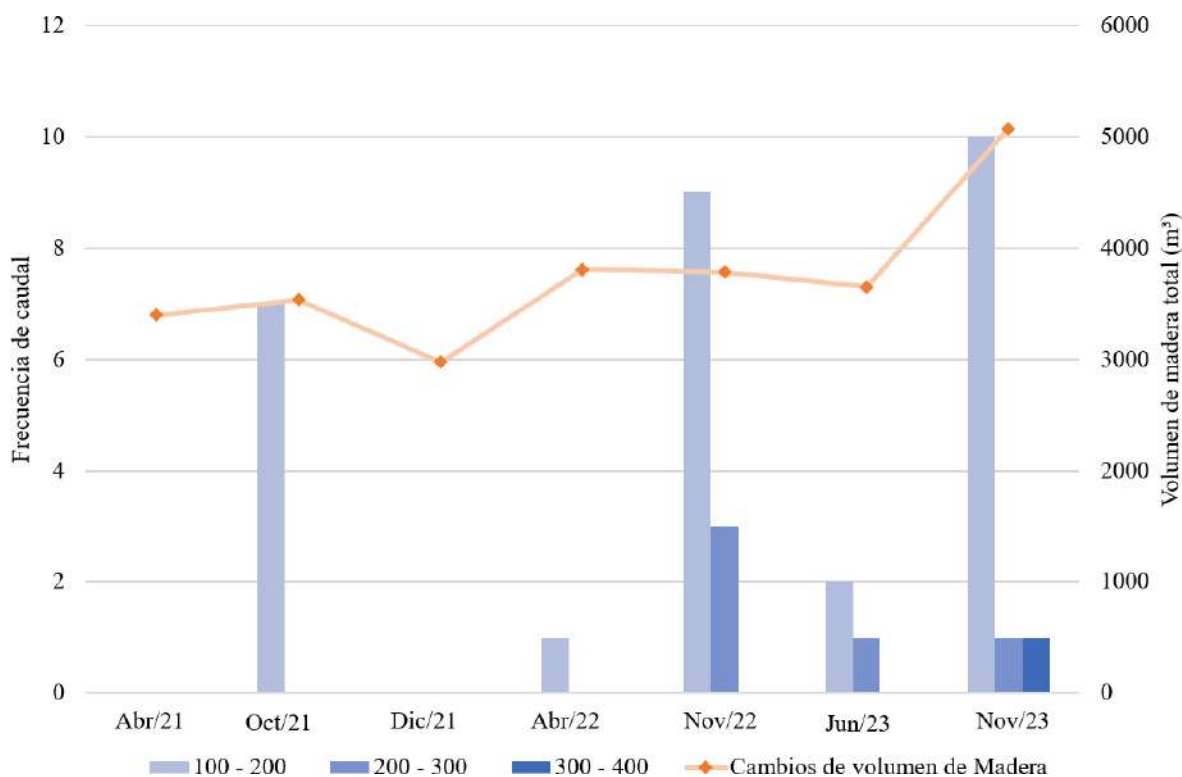


Figura 14. Combinación de la frecuencia de caudales que superan los umbrales de 100-200 m<sup>3</sup>/s, 200-300 m<sup>3</sup>/s y 300-400 m<sup>3</sup>/s ocurridos entre fechas de muestreo con los cambios en el volumen total de madera.

La Figura 15 muestra la relación entre el caudal máximo entre fechas de vuelo y el cambio en el

volumen de madera. No se aprecia una relación clara entre el cambio en el volumen y el máximo caudal entre fechas de muestreo. Se observan grandes cambios de volumen para máximos caudales bajos como los registrados en diciembre de 2021 (12/21) y abril de 2022 (04/22). Y, por otro lado, en caudales más altos, (~300) como en noviembre de 2022 (11/22) y junio de 2023 (06/23) los cambios de volumen de madera son mucho menores.

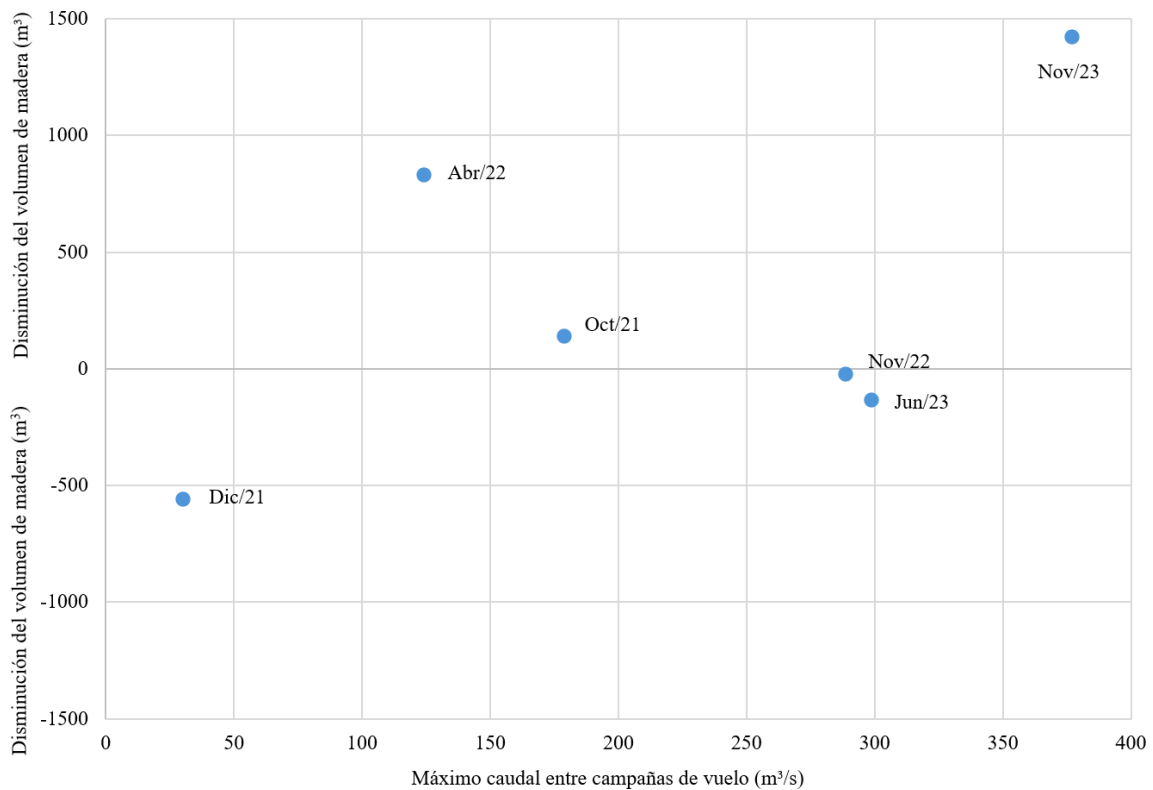


Figura 15. Aumento/disminución de la cantidad de madera en m<sup>3</sup> versus el máximo caudal entre campañas de muestreo.

#### 4.4.2. Dinámica de la madera almacenada en WJ

La figura 16 muestra el número de WJ según su categoría (entrada, salida y estable) en tres sectores del área de estudio: Nilahue pre Confluencia, Contrafuerte y Nilahue post Confluencia, durante los periodos noviembre 2022, junio 2023 y noviembre 2023. Se puede ver una tendencia constante a lo largo de los tres periodos analizados, donde Nilahue pre Confluencia es el sector con menos WJ (entre 98 y 108), seguido por Nilahue post confluencia (entre 166 y 200), mientras que Contrafuerte registra sistemáticamente el mayor número total de WJ (entre 221 y 266). Esta jerarquía se mantiene incluso al considerar solo los WJ estables.

Se puede destacar junio de 2023 con el periodo donde las salidas de WJ fueron mayor a las entradas en los sectores de Contrafuerte (71 entrada vs 86 salida) y Nilahue post confluencia (36 entrada vs 74 salida), situación que no ocurre en noviembre de 2022 y noviembre de 2023 donde las entradas superan a las salidas en todos los sectores menos en Nilahue pre confluencia (7 entrada vs 9 salida) en noviembre de 2022.

Por otro lado, entre noviembre de 2022 y junio de 2023 se observa un aumento significativo de las salidas en Contrafuerte de 42 a 86 WJ. En noviembre de 2023 las salidas disminuyen en los tres sectores y aumenta la cantidad de WJ estables en Contrafuerte y Nilahue post confluencia, especialmente en Contrafuerte donde aumenta de 109 a 144 WJ.

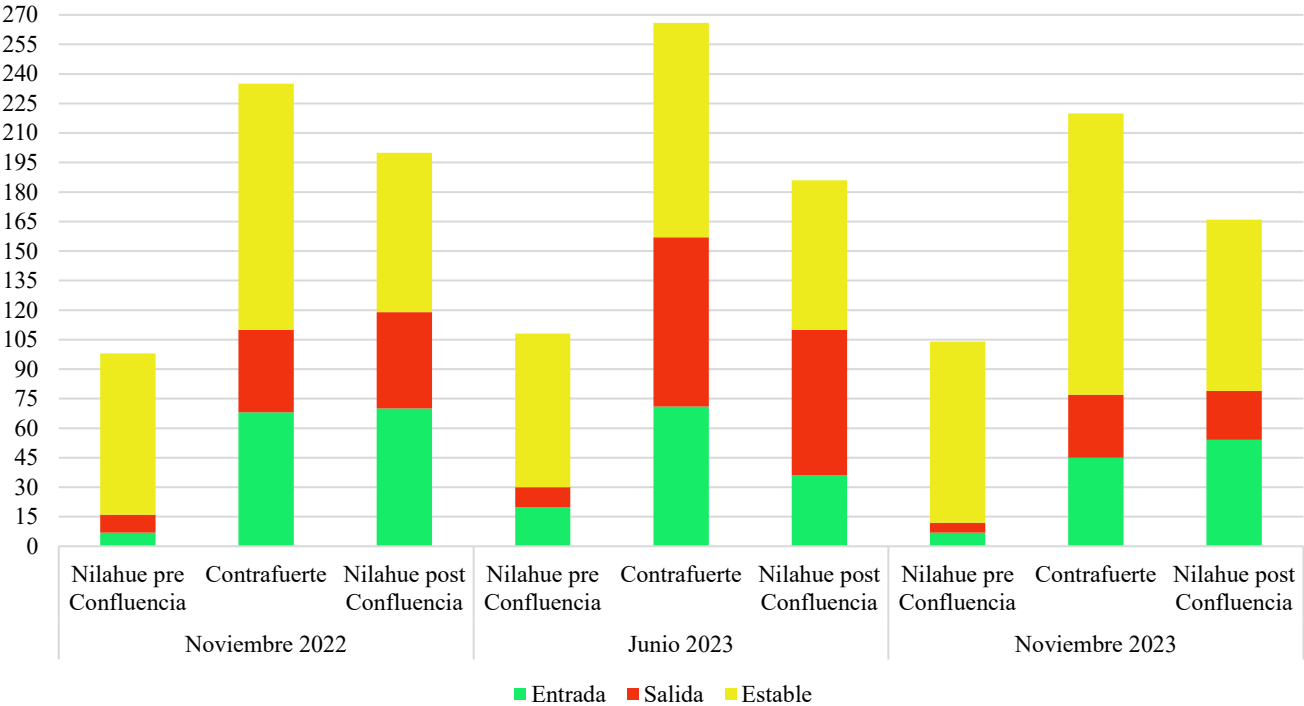


Figura 16. Gráfico comparativo del número (%) de madera almacenada en WJ respecto al total en cada fecha.

La Figura 17 ilustra la dinámica de LW y WJ que fueron movilizados o que se mantuvieron estables en el sector del río Nilahue antes de la confluencia entre abril y noviembre de 2022; entre noviembre de 2022 y junio de 2023; y entre junio y noviembre de 2023. Además, se representan los cambios en la morfología del canal activo, en las barras centrales y laterales durante estos periodos.

El río Nilahue presentó una alta estabilidad de madera individual y en acumulaciones. El periodo con mayor entrada de madera en WJ es entre noviembre de 2022 y junio de 2023. Estas entradas se concentran en las barras centrales y en las orillas de la barra lateral derecha. En junio de 2023, también se genera la

salida de un WJ que había estado estable todo el estudio y de pequeños WJ a las orillas de las barras centrales. Continúa entrando madera en WJ establecidas en junio de 2023 en las barras centrales y la salida de un WJ sobre la orilla de una barra central erosionada.

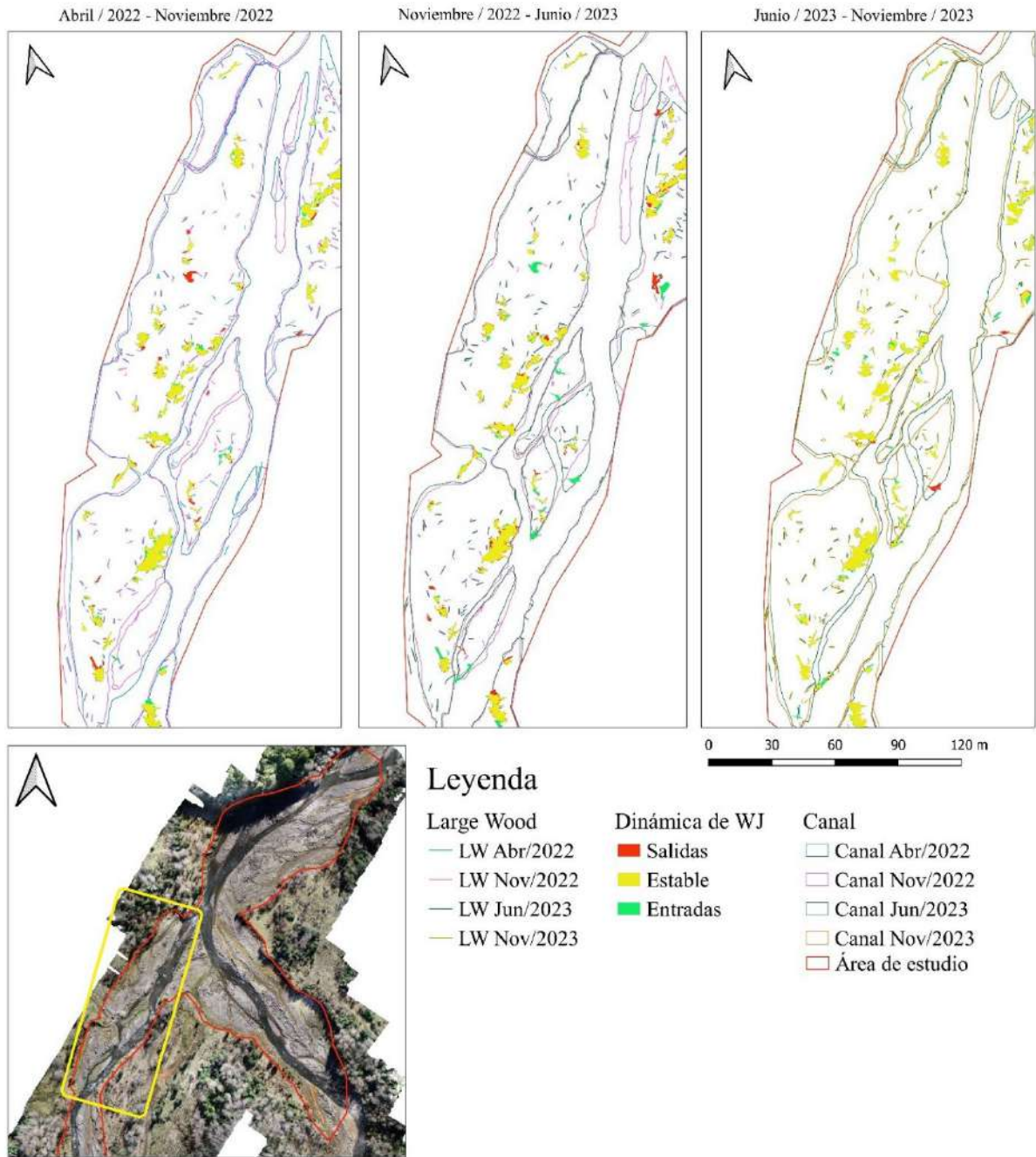


Figura 17. Dinámica de WJ y ubicación de la madera entre las cuatro últimas fechas del estudio en el río Nilahue antes de la confluencia. El agua fluye de abajo a arriba en las figuras.

La Figura 18 muestra la dinámica de LW y WJ en el sector del río Contrafuerte antes de la

confluencia. Además, se representan los cambios en la morfología del canal activo, en las barras centrales y laterales durante estos periodos.

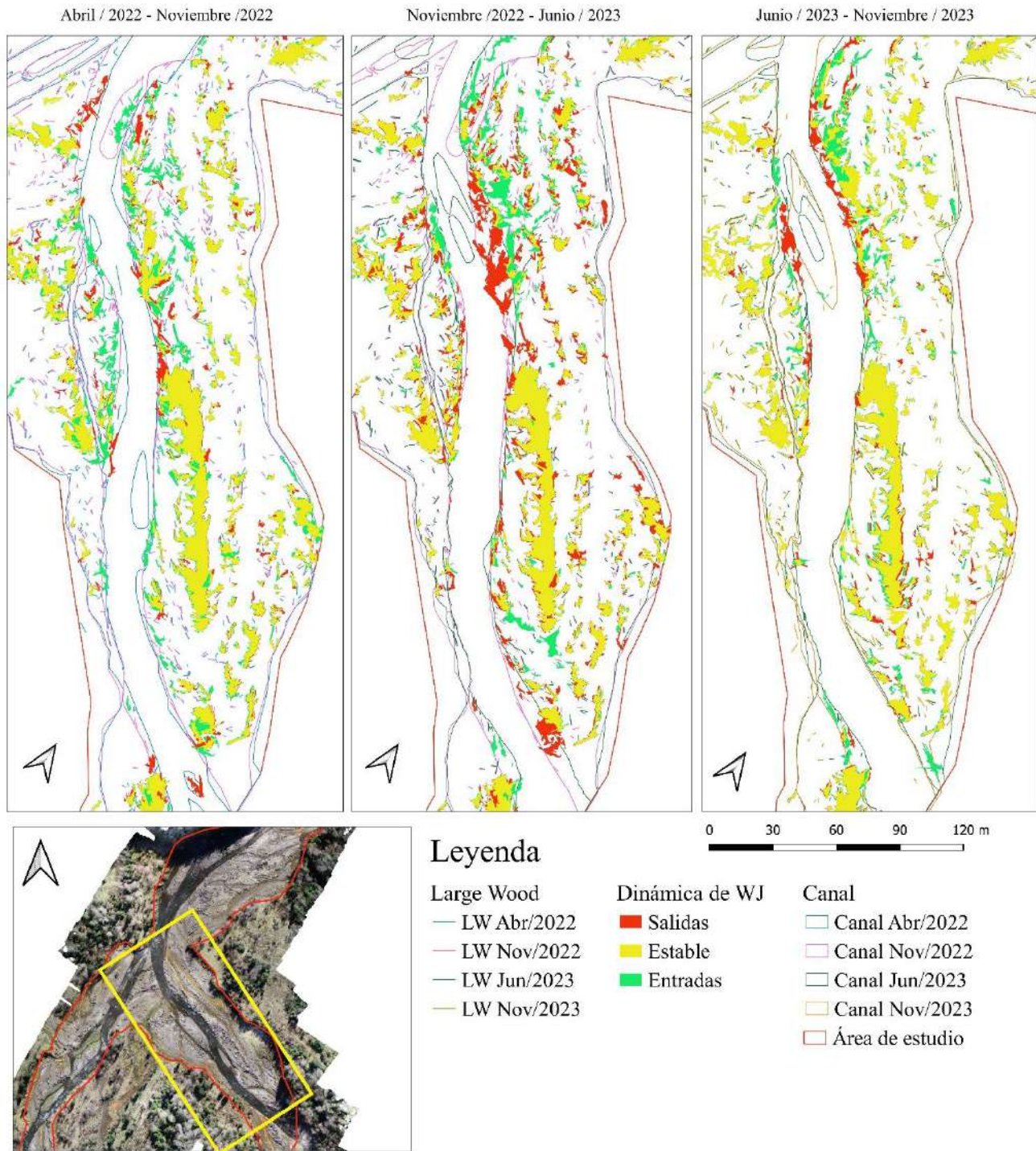


Figura 18. Dinámica de WJ y ubicación de la madera entre las cuatro últimas fechas del estudio en el río Contrafuerte antes de la confluencia. El agua fluye de abajo a arriba en las figuras.

El Rio Contrafuerte tiene una alta actividad de entradas y salidas de madera en WJ en las tres últimas fechas. Se destaca una mayor estabilidad de la madera en la barra lateral izquierda, que en las barras lateral derecha y central, donde se producen cambios significativos en términos de cantidad, forma y orientación de la madera. En abril de 2021, se identifican tres LW dentro del canal, de los cuales uno, con una longitud de 13,7 m, se mantiene estable hasta abril de 2022, pero desaparece para noviembre de 2022. En noviembre de 2022 se aprecia mayor entrada que salida de madera en WJ, con una marcada formación de nuevos WJ en la orilla de la barra lateral izquierda y la barra central en la parte inferior de la imagen, mientras que las salidas o desintegración de WJ se concentran en orillas cóncavas de las barras, áreas que fueron erosionadas, como en las cercanías a la confluencia y en la orilla de la barra lateral izquierda.

En junio de 2023 las salidas ocurren tanto a lo largo de las orillas como al interior de las barras laterales y centrales, en mayor medida en secciones donde el canal migra hacia el interior de la barra lateral derecha, entre 8 y 9 metros aproximadamente, removiendo los WJ presentes en esa área, incluyendo un WJ de 71 m<sup>3</sup>. Las entradas de madera se concentran en la parte superior de la imagen, en las orillas cóncavas cercanas a la confluencia y al interior de la barra lateral derecha. También se puede observar que, ciertos WJ que se formaron en noviembre de 2022 y muchos que se mantuvieron estables entre abril de 2022 y noviembre de 2022 desaparecen en junio de 2023 especialmente en la orilla de la barra lateral derecha.

En noviembre de 2023 las salidas o movilización de madera se concentran en la orilla cóncava de la barra lateral derecha. La entrada de madera que entró en los WJ se acomodó en acumulaciones consolidadas en la fecha anterior en la barra lateral derecha, mientras la formación de nuevos WJ se concentró en la barra izquierda y en la barra central.

La Figura 19 muestra la dinámica de LW y WJ el sector del río Nilahue después de la confluencia. Además, se representan los cambios en la morfología del canal activo, en las barras centrales y laterales durante estos periodos.

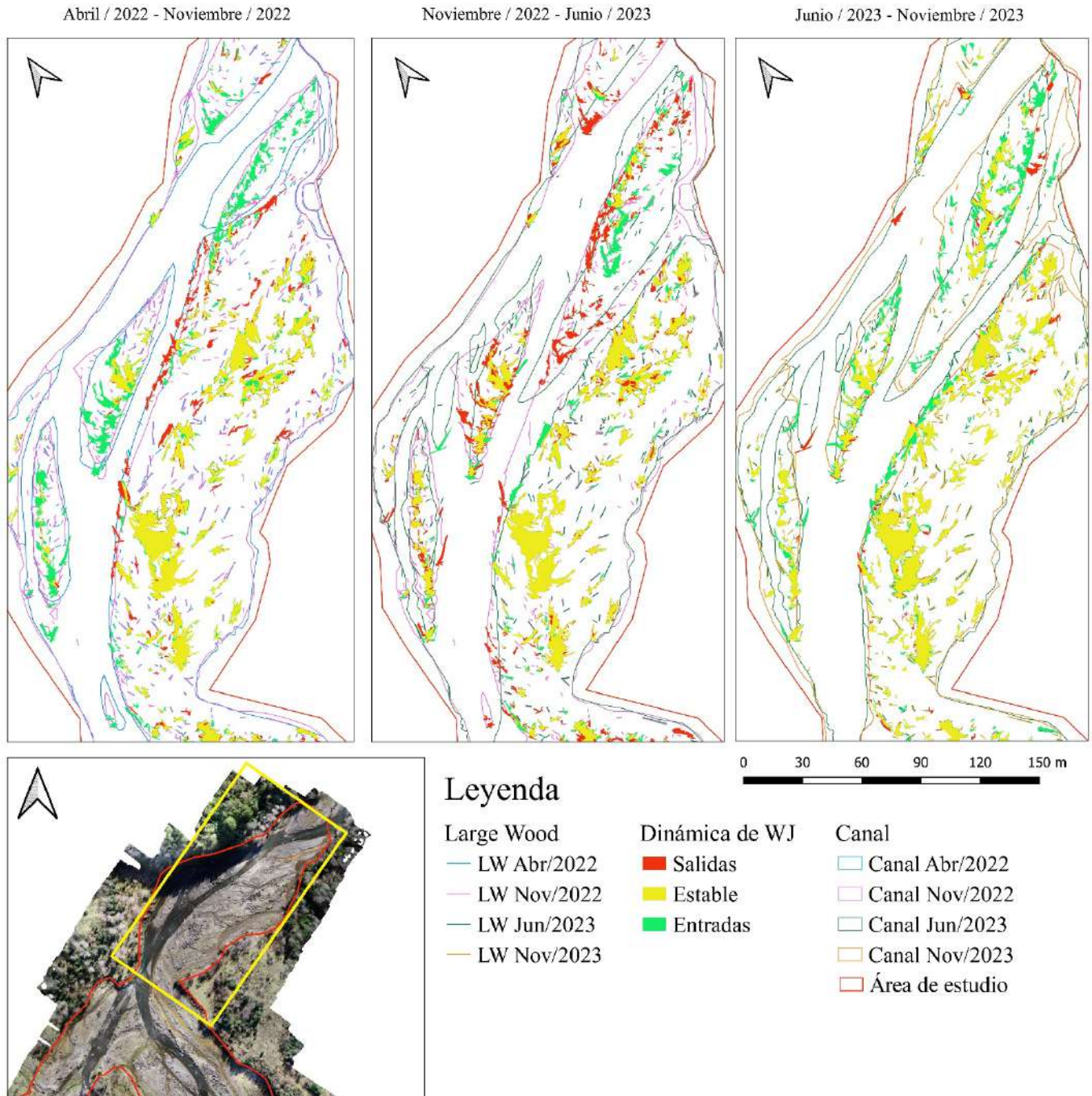


Figura 19. Dinámica de WJ y ubicación de la madera entre las cuatro últimas fechas del estudio en el río Nilahue después de la confluencia. El agua fluye de abajo a arriba en las figuras.

En noviembre de 2022, se visualiza erosión general de las barras, entre los 2 y 6 metros, junto con la salida de WJ a lo largo de estas orillas sobre la barra lateral derecha, y algunos WJ al interior de la barra vinculados con canales efímeros. La entrada de madera en WJ se localiza sobre las barras centrales

y sobre la zona alta de la barra lateral derecha con una tendencia a depositarse paralelamente al canal y con orientación interna perpendicular. La barra superior presenta la formación de un nuevo brazo del canal, acompañado por un WJ con orientación interna perpendicular al flujo, pero este desaparece en la siguiente fecha.

Para junio de 2023, se observa un ensanchamiento adicional del canal principal en varias secciones y una modificación en las formas de las barras centrales y laterales, como en el desarrollo de un brazo del canal y la separación de la barra lateral derecha dando lugar a una barra central alargada. La remoción de madera ocurre en los bordes erosionados de las barras, pero también al interior, como en la nueva barra central. Los WJ estables se mantienen en zonas protegidas de las barras y en algunas secciones en las orillas

Para noviembre de 2023, la morfología del canal muestra pocos cambios, se puede observar erosión de la barra lateral derecha entre 1 y 5 metros en distintas secciones, las dos barras centrales presentan ensanchamiento lateral, y también se presenta la unión de una barra lateral con una central en la parte izquierda de la imagen, proceso que se vincula con un WJ estable desde noviembre de 2022 en la parte inferior de la barra. Las entradas de madera en WJ se posicionaron en los bordes de las barras, incorporándose a WJ formados en la fecha anterior y en menor medida a la formación de WJ nuevos de menor tamaño. La salida de madera en WJ fue escasa y dispersa, no obstante, en la parte superior de la imagen, destaca la pérdida de 5 WJ que se encontraban sobre un brazo del canal que migró hacia la izquierda.

## 5. DISCUSIÓN

*Objetivo 1: Caracterizar la hidrología mediante los registros de caudal y eventos de crecida significativas.*

Los datos recopilados de caudal en la cuenca del río Nilahue, permiten establecer que desde 2021 a 2023, ha incrementado la recurrencia de crecidas de mayor magnitud, lo que podría estar relacionado con fenómenos hidrológicos más intensos, como el cambio climático o modificaciones en la cuenca. Sin embargo, este aumento de los eventos y de la magnitud se encuentran dentro de lo esperado según el comportamiento oscilante que se muestra en el gráfico de caudales máximos anuales (Anexo 1.3) donde los picos de caudal se repiten entre 3 y 4 años seguidos de años más secos o con menor caudal,

posiblemente vinculados con la influencia de las fases cálidas y frías del ciclo ENOS, El Niño-Oscilación del Sur (Wang *et al.* 1999).

En 2022 destacaron dos características relacionadas a las crecidas de caudal. Primero, durante los meses de invierno, los caudales fueron los más altos desde el máximo anual de 2020, de 365,5 m<sup>3</sup>/s, tras dos años sin superar los 200 m<sup>3</sup>/s. Segundo, la frecuencia de caudales cercanos y superiores a 200 m<sup>3</sup>/s aumento en comparación con 2021, cuyo máximo anual fue de 178,8 m<sup>3</sup>/s.

Es relevante mencionar el caudal máximo anual de 377 m<sup>3</sup>/s de 2023, relacionado con el aluvión ocurrido el día 15 de septiembre de 2023, provocó remoción en masa, inundación, crecidas y desbordes de ríos en gran parte de la región de Los Ríos (Diario Paillaco 2023). Dicho caudal es el valor más alto registrado dentro del periodo de estudio y el más alto desde el máximo anual de 2014 de 546,6 m<sup>3</sup>/s, y además es especialmente alto en comparación a los caudales del mes de septiembre en los años anteriores, donde el segundo valor más alto es de 125,7 m<sup>3</sup>/s en 2018.

Por otro lado, el periodo de retorno de 2020 es de cuatro años aproximadamente, lo cual, no se ajusta completamente al siguiente caudal de magnitud similar, que sería en septiembre de 2023, marcando un intervalo de tres años, posiblemente porque los periodos de retorno son estimaciones basadas en datos históricos y no reflejan completamente la realidad (Fryirs y Brierley 2013), y por otro lado, la disponibilidad de datos utilizados abarcaron 12 años, debido los registros de caudal están disponibles desde junio de 2011, un mes después de la primera erupción del complejo Cordón Caulle. Teniendo en cuenta lo anterior, es importante destacar la baja calidad de los datos y un posible sesgo de los resultados, ya que para realizar un análisis más robusto el rango recomendado de análisis sería 30 años (OMM, 2009).

### *Objetivo 2: Caracterizar la morfología identificando cambios en las unidades morfológicas.*

El segmento estudiado del río Nilahue presentó un período de relativa estabilidad morfológica hasta abril de 2022, asociado a los bajos caudales registrados durante el invierno de 2021. Aunque en este lapso se produjeron algunos cambios en la superficie de las barras y el canal, estos fueron menores en comparación con las variaciones observadas a lo largo del estudio. Esta estabilidad relativa se debe a que el área de estudio corresponde a la confluencia de dos ríos, donde los patrones de erosión y sedimentación son altamente variables, incluso bajo condiciones hidrológicas aparentemente estables (Rhoads, 2020).

El dinamismo de la confluencia responde a la interacción de los flujos de ambos ríos, lo que genera variaciones espaciales y temporales en los procesos de erosión y sedimentación. La convergencia de caudales con distintas velocidades, direcciones y cargas sedimentarias favorece la formación de

remolinos, zonas de recirculación y fluctuaciones en la presión del flujo, contribuyendo a una morfología fluvial en constante cambio (Best, 1988).

Desde noviembre de 2022 se observan cambios morfológicos significativos, como la erosión de los márgenes del canal y fragmentación de las barras laterales, lo que evidencia el dinamismo presente en el área de estudio. Estos cambios están relacionados con las crecidas de caudal, ya que en noviembre de 2022 desaparecen las islas y el canal aumenta un 20% de superficie coincidiendo con una serie de 12 caudales importantes y especialmente a 3 caudales entre los 200 y 300 m<sup>3</sup>/s, con valores de 273, 288 y 236 m<sup>3</sup>/s, ocurridos en los meses de invierno. Luego en junio de 2023 el área del canal sigue aumentando, coincidiendo también una serie de caudales importantes en los días antes de la toma de fotografías aéreas, salvo que en este caso solo ocurren tres crecidas con una sobre los 200 m<sup>3</sup>/s (298 m<sup>3</sup>/s).

En junio de 2023 también se presenta simultáneamente la superficie más baja de las barras laterales y la más alta de las barras centrales dentro del periodo de estudio. Que la superficie de las barras laterales sea baja en esta fecha habla de un ajuste horizontal del canal por fuerza erosiva, mientras que el aumento de las barras centrales habla de una agradación del canal, es decir de una acumulación de sedimento en áreas poco profundas (Fryirs y Brierley 2013, Gordon *et al.* 1992) como en el caso de la sección de Nilahue postconfluencia, la cual presenta la menor pendiente en comparación a las otras secciones del área. En noviembre de 2023, continúo aumentando el canal asociado a caudales altos en los meses de invierno y a tres caudales ocurridos en 3 días seguidos en septiembre. Por lo tanto, se puede hablar de que el área de estudio se encontraba en un estado de baja energía desde mediados de 2020 hasta abril de 2022, en respuesta a caudales de baja magnitud, y que el aumento en la frecuencia y la magnitud de los caudales, especialmente entre abril de 2022 y noviembre de 2022, tienen gran relevancia en los cambios morfológicos y en el volumen de madera.

### *Objetivo 3: Calcular y comparar las dimensiones y volumen de madera.*

El volumen de total de madera es relativamente constante a lo largo del estudio, excepto en la última fecha, cuando se registra un volumen inusualmente alto. Sin embargo, el volumen de LW, que representa una fracción pequeña del total, sigue otra tendencia, con diferencias en el volumen y cantidad partir de eventos hidrológicos ocurridos en el invierno de 2022. Esto se reflejó en el análisis estadístico, donde en las primeras fechas no hay diferencia significativa en el largo y volumen, pero al considerar todas las fechas, estas diferencias si fueron evidentes. Por otro lado, las medianas de las tres dimensiones presentan variaciones importantes desde de noviembre de 2022, mostrando una disminución en el largo a disminuir

con el tiempo, mientras que el diámetro y volumen tendieron a aumentar. Este fenómeno podría atribuirse por un alto dinamismo de LW, donde las piezas son movilizadas y reemplazadas otras más cortas y anchas.

Por otro lado, la pendiente de la regresión lineal (0,936) indica una alta similitud entre el volumen de WJ medido en terreno y los estimados en el software Agisoft Photoscan®. Este valor, cercano a 1, indica que las acumulaciones tienen una porosidad baja, ya que, en acumulaciones con muchos espacios vacíos o contactos mínimos entre troncos, el volumen estimado con el software tiende a ser mayor al real. Esto ocurre porque el software considera el volumen total del conjunto, incluyendo los espacios, mientras que en terreno se mide cada tronco de forma individual. Por tanto, esta pendiente sugiere que las diferencias entre ambos métodos son mínimas debido a una estructura compacta de las acumulaciones en terreno.

El volumen total de madera registrado en este estudio es alto, destacando noviembre de 2023 (5.075,3 m<sup>3</sup>). Esto es significativo si consideramos que el área de estudio se encuentra en una cuenca de 128,2 km<sup>2</sup>. Según la revisión realizada por Ruiz-Villanueva *et al.* (2016), las cuencas de más de 100 km<sup>2</sup> suelen exportar volúmenes de madera que oscilan entre los 500 y 4.000 m<sup>3</sup>, lo que resalta la magnitud de los resultados obtenidos. Sin embargo, los volúmenes observados en esta investigación se encuentran dentro del rango de almacenamiento de madera estimado en estudios realizados en Chile, donde Ruiz-Villanueva *et al.* (2016) reporta que estos fluctuaron entre 100 y 1.000 m<sup>3</sup> por hectárea. Esto sugiere que, aunque elevado, el volumen registrado está en concordancia con los patrones de almacenamiento observados en otras áreas similares.

*Objetivo 4: Analizar la relación entre las características de la madera y los cambios morfológicos e hidrológicos, evaluando su impacto en la distribución y dinámica de la madera.*

La mayor pérdida de madera se debe a la erosión de las barras, como describen Iroumé *et al.* (2020), donde se destacó que la madera en zonas expuestas al flujo, como en los márgenes del canal, es más susceptible a ser movilizada durante eventos de alto flujo. En contraste, las entradas de elementos en WJ se concentraron en las orillas formadas por la migración lateral del canal.

Desde inicios del estudio hasta abril de 2022, el volumen de madera se encuentra relativamente constante, indicando una situación de equilibrio de la madera según lo definido por Pellegrini *et al.* (2021). Sin embargo, la disminución del volumen de LW entre diciembre de 2021 y abril de 2022 refleja movilidad asociada a un único evento de crecida en el mes de enero de 124 m<sup>3</sup>/s, la cual tendría la fuerza

necesaria para producir salidas y reorganización de la madera, pero no para generar grandes cambios en el ancho del canal. Una situación similar es descrita por Sánchez (2021), donde las crecidas competentes para mover troncos serían de menor magnitud que las que generan erosión de márgenes.

La dinámica de WJ presenta variaciones significativas entre los diferentes sectores (Figura 16). Contrafuerte destaca como el área de mayor actividad, con entradas y salidas frecuentes en todas las fechas, especialmente en las barras lateral derecha y central, las cuales están fuertemente afectadas por procesos de erosión y migración del canal. En Nilahue post confluencia, la dinámica es intermedia, con episodios de pérdida y entrada de madera, pero con un aumento gradual de WJ estables desde noviembre 2022 hasta noviembre 2023, lo que podría reflejar procesos de retención o acumulación progresiva en ese tramo. Por otro lado, Nilahue pre confluencia registra el menor número de WJ y presenta una baja rotación, con cambios localizados en barras centrales, lo que sugiere un entorno más estable o una menor capacidad de retención de madera. Esta tendencia se ve respaldada por el análisis gráfico, que confirma a Contrafuerte como el sector con el mayor número de WJ, mientras que Nilahue pre confluencia destaca como el menos activo a lo largo del período de estudio.

Entre abril de 2022 y junio de 2023, a pesar de que la frecuencia y magnitud de las crecidas fueron mayores en comparación con años anteriores, no se observaron grandes fluctuaciones en el volumen total de madera. Sin embargo, las entradas y salidas de WJ mostraron un constante movimiento de madera, especialmente en los márgenes cóncavos de las barras laterales y al interior de estas, tanto en el río Contrafuerte como en el río Nilahue posterior a la confluencia. Esto indica que, aunque las crecidas no alteraron significativamente el volumen general, sí hubo un dinamismo continuo en la distribución y movimiento de WJ a lo largo del período estudiado (Figura 17, Figura 18 y Figura 19).

Entre noviembre de 2022 y junio de 2023 registró un periodo particular en el que, aunque el número de salida de WJ supero al de entradas, el volumen de WJ aumentó. Esto podría estar vinculado a que, durante los cuatro días previos a la toma de imágenes, se concentraron los tres caudales más significativos del periodo, incluyendo el caudal máximo anual durante un evento de dos días (Anexo 1.6). La corta duración del evento, junto con el hecho de que el caudal máximo anual supero al del año anterior, generó una rápida remoción de la madera previamente establecida (Hortobágyi *et al.* 2024). Por otro lado, el aumento del volumen de WJ podría explicarse por la captura de LW por parte de los WJ preexistentes.

Luego entre el periodo de junio y noviembre de 2023 ocurrió un aumento del volumen de madera total, a pesar de que los eventos de caudal fueron de mayor duración y magnitud que en el periodo anterior. Esto contradice parcialmente lo ilustrado por Hortobágyi *et al.* (2024), quienes analizaron que cuanto mayor sea la duración de un caudal que supere el nivel de banco lleno, tiende a reducir la acumulación

de madera. En este caso, el aumento de volumen podría deberse, por un lado, a que las entradas superaron las salidas (Figura 16), y por otro, con la mayor proporción de WJ estables respecto a las fechas anteriores, con algunos manteniéndose intactos desde las entradas observadas en noviembre de 2022. Se observó que los WJ más estables presentaron una orientación interna perpendicular al flujo de agua, según Braudrick y Grant (2000), las piezas perpendiculares al sentido de la corriente ofrecen mayor resistencia al movimiento, ralentizando su desplazamiento. También es posible que los WJ sean más compactos y resistentes a la desintegración y remoción, limitando las salidas a áreas localizadas en noviembre de 2023.

### *Fuentes de error*

Entre diciembre de 2021 y abril de 2022, se registró una disminución del número de LW, pero las dimensiones de estos se mantienen sin cambios relevante. Esto puede atribuirse al menor tamaño del ortomosaico de abril de 2022 en comparación con el de la fecha anterior, lo que provocó que los LW ubicados en los límites de la imagen de noviembre de 2021 no fueran registrados en abril de 2022.

Algo inusual ocurre entre octubre y diciembre de 2021, mientras que el volumen de LW aumenta proporcionalmente a su número, el volumen de WJ disminuye alrededor de  $573 \text{ m}^3$  a pesar de disminuir solo en dos WJ pequeños. Por otro lado, los volúmenes estimados de los WJ en diciembre no coinciden con los valores obtenidos para los mismos WJ en las fechas previas. También se puede visualizar que los WJ no cambian de forma ni de tamaño entre estas fechas (Anexo 3.1), esto podría indicar posibles errores en la imagen utilizada para calcular el volumen sólido sobre el suelo en diciembre de 2021. Por lo tanto, se puede inferir que el valor del volumen de WJ y el total de diciembre de 2021 se encuentra en algún punto entre el volumen de octubre de 2021 y abril de 2022.

## **6. CONCLUSIÓN**

El análisis realizado sobre el río Nilahue durante el periodo 2021-2023 demuestra que la dinámica de madera (LW y WJ) están fuertemente influenciados por la interacción entre las condiciones hidrológicas y morfológicas. A partir de 2022, el aumento en la frecuencia e intensidad de las crecidas generó una mayor movilización de madera, afectando principalmente los márgenes del canal y zonas de barras laterales que a su vez alteraron significativamente la distribución espacial de la madera.

La respuesta de cada tramo del río a estos eventos estuvo condicionada por sus características locales: sectores como Contrafuerte, con una morfología más dinámica, presentaron mayor rotación de WJ, mientras

que zonas como Nilahue pre confluencia mostraron estabilidad, evidenciando una menor capacidad de retención. Además, la orientación y compactación de los WJ también influyeron en su estabilidad, siendo más resistentes aquellos con estructuras perpendiculares al flujo. Asimismo, se observó que eventos de crecida de caudal de corta duración, y de intensidad alta puede remover estructuras previas, mientras que flujos de larga duración tienden a generar reorganizaciones más sostenidas. En conjunto, los resultados permiten confirmar parcialmente la hipótesis del estudio, ya que si bien las crecidas (especialmente las más intensas) actuaron como principal fuerza motriz en la movilidad y estabilidad de la madera, las características morfológicas locales modulaban su expresión local, condicionando los patrones de retención y redistribución.

No obstante, es importante reconocer las limitaciones del presente estudio, las cuales abren oportunidades para investigaciones futuras. Una de las principales restricciones corresponde a la extensión temporal de los registros hidrológicos disponibles, lo que dificulta una evaluación más robusta del impacto a largo plazo de eventos climáticos extremos sobre la dinámica y estabilidad de LW y WJ. En este sentido, una serie de datos más amplia permitiría validar con mayor precisión la influencia de ciclos hidrológicos como el ENSO. Asimismo, la integración de metodologías complementarias, como el uso de tecnologías de monitoreo continuo (por ejemplo, cámaras trampa que registren el movimiento diario de la madera), junto con modelos de simulación hidromorfológica, podría enriquecer el análisis de las interacciones entre factores hidrológicos, morfológicos y biológicos. Este enfoque integral permitiría avanzar hacia una comprensión más profunda de los procesos que regulan la distribución y permanencia de la madera en sistemas fluviales de montaña, aportando herramientas clave para su gestión y monitoreo en contextos de creciente variabilidad climática.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Andreoli A, F Comiti, L Mao, A Iroumé, M Lenzi. 2008. Evaluación de los volúmenes y de los efectos hidro-morfológicos del material leñoso en dos torrentes andinos (Chile). *Ingeniería Del Agua*. 15(3):189-204.
- Abbe TB, DR Montgomery. 2003. Patterns and processes of wood debris accumulation in the Queets River basin, Washington. *Geomorphology*. 51:81-107.
- Bertoldi W, M Welber, L Mao, S Zanella, F Comiti, 2014. A flume experiment on wood storage and remobilization in braided river systems. *Earth Surf. Process*. 39(6):804-813.
- Best JL. 1988. Sediment transport and bed morphology at river channel confluences. *Sedimentology*. 35(3): 481-498.
- Braudrick CA, GE Grant. 2000. When do logs move in rivers? *Water Resources Research*. 36(2):571-583.
- Braudrick CA, GE Grant. 2001. Transport and deposition of large wood in streams: A flume experiment. *Geomorphology*. 41:263-283.
- Comiti F, A. Lucía, D Rickenmann. 2016. Large wood recruitment and transport during large floods: A review. *Geomorphology*. 269:23-39
- Dirección General de Aguas (DGA). 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Rio Bueno. Ministerio de Obras Públicas. 147 p.
- Diario Paillaco. 2023. Entregan reporte regional de emergencias por precipitaciones. Consultado 09 ag. 2023. Disponible en: <https://www.diariopaillaco.cl/noticia/actualidad/2023/09/entregan-reporte-regional-de-emergencias-por-precipitaciones>

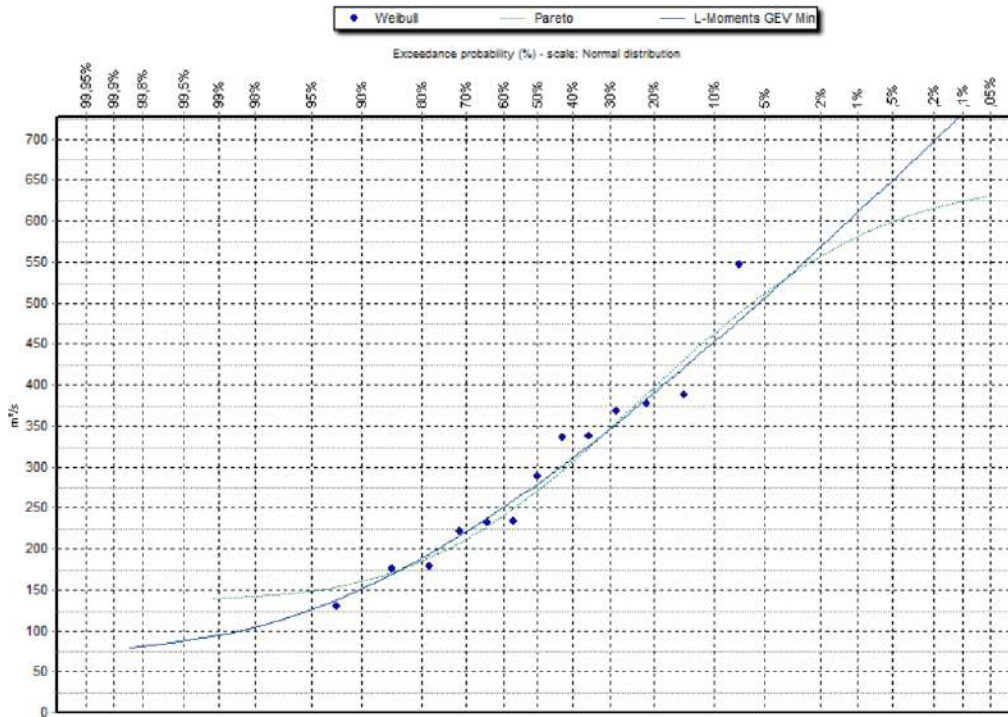
- Fryirs KA, GJ Brierley. 2013. *Geomorphic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape*. Wiley-Blackwell. UK.
- Gordon N, T McMahon, B Finlayson, C Gippel, R Nathan. 1992. *Stream Hydrology: An introduction for ecologists*. John Wiley & Sons. England
- Gurnell AM, H Piégay, FJ Swanson, V Gregory. 2002. Large wood and fluvial processes. *Freshwater Biology*. 47:601-619.
- Hortobágyi Borbála, S Petit, B Marteau, G Melun, H Piégay. 2024. A high-resolution inter-annual framework for exploring hydrological drivers of large wood dynamics. *River Research and Applications*. 40(6):958-975
- Iroumé A, V Ruiz-Villanueva, L Mao, G Barrientos, M Stoffel, G Vergara. 2018. Geomorphic and stream flow influences on large Wood dynamics and displacement lengths in high gradient mountain streams (Chile). *Hydrological Processes*. 32:2636-2653.
- Iroumé A, A Paredes, M Garbarino, D Morresi, RJ. Batalla. 2020. Post-eruption morphological evolution and vegetation dynamics of the Blanco River, southern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*. 104:102809
- Iroumé A, K Sánchez, B Mazzorana, L Martini, L Picco. 2023. Large wood dynamics in a mountain river disturbed by a volcanic eruption. *Geomorphology*. 422:108551.
- Kramer N, E Wohl. 2014. Estimating fluvial wood discharge using time-lapse photography with varying sampling intervals. *Earth Surf. Process. Landforms*. 39:844-852.
- Martin DJ, LE Benda. 2001. Patterns of Instream Wood Recruitment and Transport at the Watershed Scale. *Transactions of the American Fisheries Society*. 130(5):940-958.
- Mount JF. 1995. *California Rivers and Streams: The Conflict Between Fluvial Process and Land Use*

- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2009. Guía de prácticas hidrológicas. Volumen II  
Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas. Ginebra.
- Picco L, C Scalari, A Iroumé, B Mazzorana, A Andreoli. 2021. Large wood load fluctuations in an  
Andean basin. *Earth Surf. Process and Landforms*. 46:371–384
- Ravazzolo, D, G Spreitzer, J Tunnicliffe, H Friedrich. 2022. The effect of large wood accumulations with  
rootwads on local geomorphic changes. *Water Resources Research*. 58(5): e2021WR031403.
- Rovira A, C Rojas, S Díaz. 2013. Efectos de una erupción volcánica Andina. El caso del Cordón Caulle,  
Sur de Chile (2011). In Borsdorf A, G Grabherr y J Stötter eds. *Forschen im Gebirge. Investigating  
the Mountains*. Viena, Austria. *Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften*. p. 288-  
304.
- Rhoads B. 2020. The Dynamics of River Confluences. In: *River Dynamics: Geomorphology to Support  
Management*. Cambridge University Press. p. 269-293.
- Ruiz-Villanueva V, B Wyzga, P Mikus, H Hajdukiewicz, M Stoffel. 2016. The role of flood hydrograph  
in the remobilization of large wood in a wide mountain river. *Journal of Hydrology*. 541:330-343.
- Sánchez K. 2021. Análisis de los procesos que explican los cambios en el volumen de material leñoso de  
gran tamaño en Río Blanco-Este, región de Los Lagos, Chile. Tesis Magíster en Ciencias Mención  
Recursos Hídricos. Valdivia, Chile. Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile.
- Sanhueza D, L Picco, A Paredes, A Iroumé. 2022. A Faster Approach to Quantify Large Wood Using  
UAVs. *Drones*. 6:218.
- Steeb N, D Rickenmann, A Badoux, C Rickli, P Waldner. 2017. Large wood recruitment processes and  
transported volumes in Swiss mountain streams during the extreme flood of August 2005.  
*Geomorphology*. 279:112-127.

- Swanson FJ, JA Jones, CM Crisafulli, A Lara. 2013. Effects of volcanic and hydrologic processes on forest vegetation: Chaitén Volcano, Chile. *Andean Geology*. 40(2):359-391
- Swanson FJ, ST Gregory, A Iroumé, V Ruiz-Villanueva, E Wohl. 2020. Reflections on the history of research on large wood in rivers. *Earth Surf. Process Landforms*. 46:55-66
- Ulloa H, B. Mazzorana, RJ Batalla, C Jullian, P Iribarren-Anaconda, G Barrientos B Reid, C Oyarzun, M Schaefer, A. Iroumé. 2018. Morphological characterization of a highly-dynamic fluvial landscape: The River Baker (Chilean Patagonia). *Journal of South American Earth Sciences*. 86:1-14.
- Wang H, R Zhang, J Cole, F Chavez. 1999. El Niño and the related phenomenon Southern Oscillation (ENSO): The largest signal in interannual climate variation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 96 (20):11071-11072.
- Wohl E. 2017. Bridging the gaps: An overview of wood across time and space in diverse rivers. *Geomorphology*. 279:3-26.
- Wohl E, N Kramer, V Ruiz-Villanueva, D Scott, F Comiti, A Gurnell, H Piegay, H Lininger, K Jaeger, D Walters, KD Fausch. 2019. The natural wood regime in rivers. *BioScience*. 69(4):259-273.
- Wohl E, J Scamardo. 2020. The resilience of logjams to floods. *Hydrological Processes*. 35: e13970
- Wohl E, E Iskin. 2022. The transience of channel-spanning logjams in mountain streams. *Water Resources Research*. 58: e2021WR031556.

## 8. ANEXOS

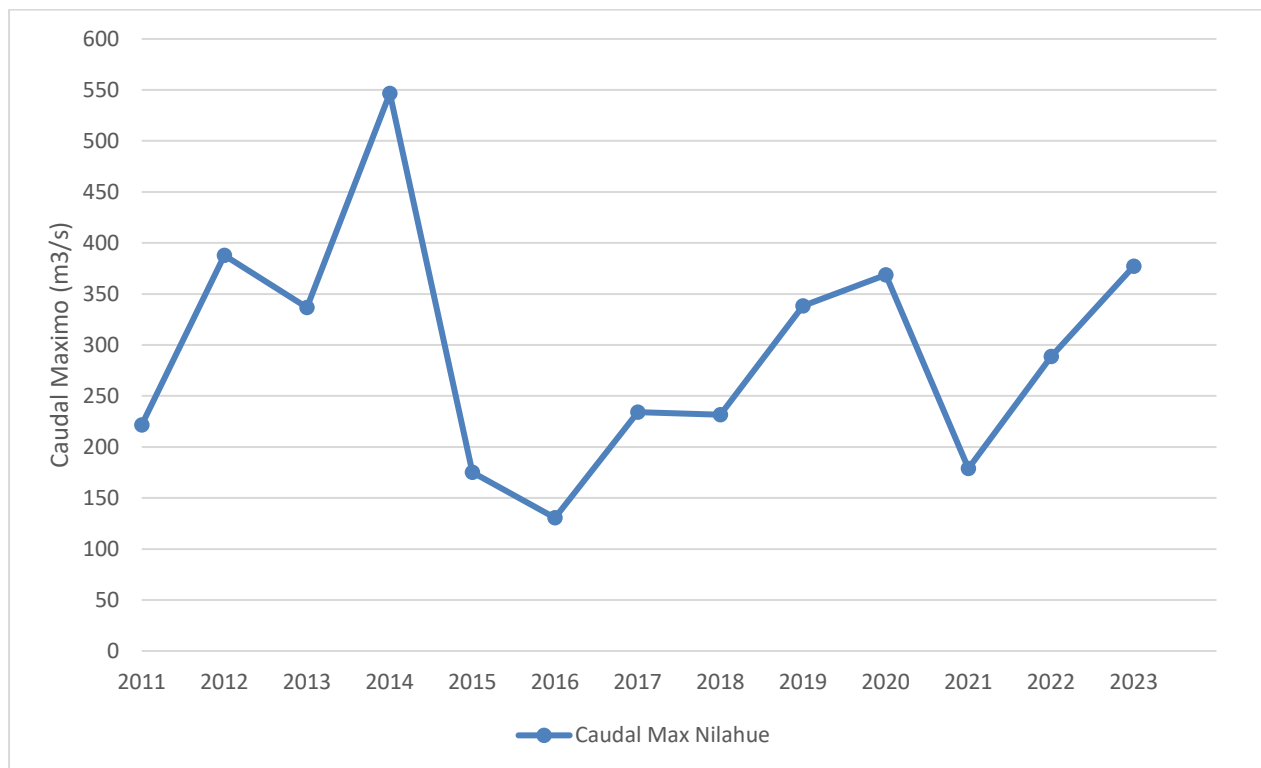
Anexo 1. 1. Gráfico que muestra la probabilidad de excedencia de los datos de caudal extraído de Hydrognomon® con la distribución empírica (webull) y las distribuciones teóricas (Pareto y L-Moments GEV Min).



Anexo 1. 2. Caudales máximos mensuales desde el año 2011 hasta el año 2023

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Max
2011	-	-	-	-	-	221,5	149,37	217,36	117,3	63,2	76,8	25,2	221,5
2012	223,6	387,9	68,7	58,9	230,0	279,4	150,0	72,9	57,6	46,1	43,4	238,1	387,9
2013	99,5	148,3	78,9	58,6	251,1	209,1	336,7	169,2	297,1	41,7	66,1	21,6	336,7
2014	90,2	58,6	77,7	105,1	215,2	354,9	280,6	546,6	118,2	77,7	76,6	21,3	546,6
2015	17,7	13,2	13,6	15,8	-	-	-	175,1	-	-	31,6	66,4	175,1
2016	17,7	24,7	17,7	86,0	15,4	14,0	46,2	130,5	60,4	39,2	88,4	30,1	130,5
2017	139,5	62,2	35,6	61,2	70,0	234,0	47,9	144,8	82,6	161,4	47,1	78,3	234,0
2018	136,0	17,5	120,7	214,1	62,2	146,6	172,9	231,8	125,7	87,0	98,7	32,8	231,8
2019	25,1	16,0	52,2	30,1	338,2	101,7	254,8	174,9	37,8	54,8	64,1	40,8	338,2
2020	45,5	26,3	17,0	37,8	122,4	368,5	114,2	46,3	48,8	34,9	34,9	72,0	368,5
2021	24,5	16,0	25,7	39,2	171,0	178,9	101,7	85,9	40,8	52,2	30,1	17,9	178,9
2022	124,0	28,2	47,9	184,9	172,9	288,8	236,3	117,4	54,8	78,3	34,2	69,0	288,8
2023	16,0	13,3	35,6	59,4	89,9	298,9	169,1	100,2	377,0	153,9	125,7	32,1	377,0

Anexo 1. 3. Gráfico de los caudales anuales del Río Nilahue desde el año 2011 hasta el año 2023.



Anexo 1. 4. Caudales máximos diarios en el río Nilahue durante el año 2021.

Día	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1	19,50	15,07	13,28	13,28	51,32	150,26	30,11	17,94	40,76	40,76	22,21	16,00
2	18,98	15,07	13,28	13,28	50,47	66,00	26,92	17,94	36,29	36,29	23,32	16,00
3	18,98	15,07	13,28	13,28	22,77	178,85	26,92	17,94	32,77	32,77	28,18	15,52
4	18,98	15,07	13,28	13,28	17,45	106,32	24,51	17,94	30,77	30,77	25,10	15,07
5	18,46	15,07	13,28	13,28	15,52	59,36	23,32	19,50	37,77	37,77	20,02	15,52
6	18,98	14,62	12,87	12,87	14,18	43,86	27,55	27,55	35,58	35,58	18,98	16,00
7	18,46	14,62	14,62	14,62	13,73	36,29	51,32	25,70	29,44	29,44	20,02	16,00
8	17,94	14,62	13,73	13,73	14,18	107,87	101,67	20,02	26,29	26,29	19,50	15,52
9	16,97	14,62	13,28	13,28	14,18	69,98	81,47	18,98	25,10	25,10	20,54	15,52
10	22,21	14,62	25,70	25,70	12,87	54,83	56,60	18,46	24,51	24,51	21,65	15,07
11	24,51	14,62	17,45	17,45	12,46	48,77	43,09	17,94	27,55	27,55	18,46	16,00
12	16,49	14,18	13,28	13,28	12,46	47,92	35,58	17,94	36,29	36,29	18,46	17,94
13	16,49	14,18	12,87	12,87	12,05	84,78	31,44	17,45	34,88	34,88	22,21	15,52
14	16,97	14,18	12,87	12,87	12,05	53,94	28,81	17,45	26,92	26,92	25,70	14,18
15	17,94	14,18	12,87	12,87	12,05	40,76	27,55	20,02	26,29	26,29	30,11	13,73
16	17,94	13,73	12,87	12,87	11,64	34,88	29,44	33,47	25,10	25,10	21,65	13,73
17	16,49	13,73	12,46	12,46	11,64	30,77	26,29	85,88	27,55	27,55	19,50	13,73
18	16,97	16,00	12,46	12,46	11,64	28,18	23,92	73,04	27,55	27,55	18,98	13,28
19	17,45	14,62	12,46	12,46	13,73	25,70	23,32	53,05	25,70	25,70	19,50	13,28
20	16,49	13,73	12,46	12,46	16,49	23,92	23,32	47,11	24,51	24,51	20,54	13,28
21	16,97	13,73	12,46	12,46	12,46	32,11	23,32	51,32	23,32	23,32	20,02	13,28
22	16,97	13,73	12,46	12,46	12,46	28,18	22,21	47,92	23,92	23,92	18,98	13,28
23	16,97	13,73	12,46	12,46	14,18	48,77	22,77	37,77	23,32	23,32	18,98	13,28
24	16,97	13,28	12,46	12,46	21,65	43,09	21,65	32,77	23,92	23,92	19,50	12,87
25	16,49	13,73	12,05	12,05	25,70	38,50	22,77	40,76	28,81	28,81	18,98	12,87
26	16,00	13,28	12,05	12,05	62,17	32,77	20,54	45,49	28,18	28,18	19,50	12,87
27	16,00	13,28	12,46	12,46	143,01	28,81	20,02	44,67	23,32	23,32	17,45	12,87
28	16,49	13,28	12,05	12,05	82,57	26,29	19,50	61,21	22,21	22,21	16,49	12,87
29	16,00		12,05	12,05	47,92	25,10	18,98	84,78	21,65	21,65	16,00	12,46
30	15,07		12,05	12,05	37,03	26,29	20,02	64,08	30,11	30,11	16,49	13,28
31	15,52		12,05	12,05	170,97		18,46	50,47		21,65		14,18

Anexo 1. 5. Caudales máximos en el río Nilahue durante el año 2022.

Día	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1	76,13	12,87	16,97	16,49	29,44	20,54	57,52	29,44	23,32	25,10	27,55	18,46
2	124,03	12,87	17,45	23,92	26,92	19,50	42,31	27,55	23,32	25,70	28,81	18,46
3	47,11	12,87	15,07	21,10	25,10	21,10	39,24	26,29	22,77	26,92	30,77	19,50
4	46,30	12,87	18,46	16,97	24,51	23,92	47,92	26,92	22,77	37,03	30,77	19,50
5	26,92	12,87	14,18	16,49	24,51	32,77	62,17	25,10	23,32	37,77	30,77	17,94
6	22,21	12,46	39,98	17,45	23,32	119,07	55,71	25,10	23,32	38,50	29,44	18,46
7	20,02	12,46	47,11	18,46	22,21	172,94	48,77	23,32	25,70	78,27	26,92	68,98
8	18,46	12,46	47,92	17,94	24,51	74,07	43,09	22,77	24,51	63,12	26,29	59,36
9	17,45	12,46	33,47	20,54	22,77	69,98	43,86	22,21	23,32	39,24	26,29	47,92
10	16,49	12,46	22,77	21,10	21,10	41,54	41,54	22,21	21,65	32,11	25,70	28,81
11	16,00	12,46	19,50	18,98	19,50	34,88	38,50	21,65	21,65	29,44	25,70	22,77
12	15,52	12,05	17,94	19,50	23,32	30,77	42,31	37,03	21,10	29,44	23,92	20,54
13	15,52	12,05	16,49	16,97	22,77	27,55	37,77	117,42	21,10	27,55	34,18	19,50
14	15,07	12,05	16,00	16,49	19,50	32,77	34,88	76,13	21,10	25,10	32,77	20,02
15	15,07	12,05	15,07	16,00	18,46	28,81	32,11	51,32	28,18	24,51	32,77	18,46
16	14,62	12,05	16,00	15,52	17,45	30,11	30,11	47,11	54,83	26,29	26,29	18,46
17	14,62	12,05	17,45	15,07	16,97	30,11	32,11	40,76	36,29	32,11	25,70	18,98
18	14,62	12,05	14,18	15,07	16,49	25,10	30,77	35,58	26,92	33,47	24,51	17,94
19	14,18	12,46	13,73	14,62	16,00	49,62	28,81	32,11	22,77	30,77	23,92	17,45
20	14,18	12,46	13,73	15,52	39,98	49,62	127,39	30,77	21,65	32,11	22,21	17,45
21	13,73	12,05	23,32	50,47	48,77	38,50	84,78	29,44	21,10	30,77	21,10	16,97
22	19,50	11,64	18,98	30,11	172,94	31,44	161,39	29,44	23,92	26,29	21,65	20,54
23	17,94	13,28	20,54	184,87	63,12	28,18	236,29	39,24	29,44	25,10	23,32	17,94
24	17,94	16,97	16,97	84,78	48,77	26,29	101,67	37,03	26,29	26,29	22,77	16,49
25	14,62	15,52	16,00	62,17	39,98	23,92	64,08	30,77	24,51	26,29	22,21	16,49
26	14,18	17,45	15,07	157,66	33,47	22,77	53,05	28,81	27,55	31,44	22,21	16,49
27	13,73	28,18	16,97	72,01	29,44	22,21	46,30	28,81	25,10	28,81	23,92	16,49
28	13,73	16,00	27,55	50,47	26,92	273,96	39,98	25,10	23,92	41,54	24,51	15,52
29	13,28		27,55	39,24	24,51	288,78	36,29	24,51	26,29	52,17	22,77	15,52
30	13,73		18,98	33,47	22,77	67,99	33,47	24,51	26,92	43,09	20,02	16,00
31	13,28		16,97		21,65		31,44	23,92		31,44		16,00

Anexo 1. 6. Caudales máximos en el río Nilahue durante el año 2023.

Día	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1	16,00	13,28	11,64	12,05	26,92	34,18	47,92	95,69	47,11	29,44	32,77	32,11
2	15,52	13,28	11,64	12,05	21,65	34,88	80,40	63,12	39,24	29,44	30,11	32,11
3	15,52	13,28	12,05	11,64	18,98	51,32	137,74	49,62	36,29	28,18	28,18	26,92
4	15,52	13,28	11,64	11,64	16,97	91,31	169,06	43,86	34,88	27,55	28,18	25,10
5	15,52	12,87	11,64	11,64	16,00	55,71	88,42	39,98	37,03	26,92	35,58	26,92
6	15,52	12,87	13,28	12,05	15,52	85,88	69,98	37,77	42,31	29,44	44,67	28,18
7	15,07	12,87	13,28	11,23	14,62	109,41	56,60	36,29	49,62	26,29	61,21	28,81
8	15,07	12,87	17,94	11,23	14,18	59,36	49,62	35,58	47,92	25,10	47,92	27,55
9	15,07	12,87	12,87	11,23	13,73	298,87	50,47	43,09	50,47	24,51	37,03	25,70
10	15,07	13,28	12,05	12,05	13,28	124,03	43,09	54,83	53,05	23,92	33,47	25,10
11	14,62	12,87	11,64	18,98	12,87	64,08	38,50	47,11	53,05	23,32	39,24	25,70
12	14,62	15,52	14,62	13,73	13,28	46,30	37,03	37,77	47,11	23,32	32,11	23,32
13	14,62	15,52	13,28	12,05	13,28	37,77	32,77	45,49	47,11	23,32	32,11	23,92
14	14,62	13,28	12,05	11,64	12,46	32,77	31,44	54,83	216,30	23,32	31,44	23,32
15	14,62	13,28	35,58	11,64	12,46	29,44	30,77	100,18	377,03	23,32	31,44	22,21
16	14,18	12,87	23,32	11,23	14,18	28,18	28,81	65,04	152,07	22,77	86,98	23,32
17	14,18	12,46	23,32	11,23	14,62	26,29	27,55	54,83	75,10	22,21	125,69	25,10
18	14,18	12,46	16,49	12,46	19,50	23,92	32,77	47,92	56,60	23,32	61,21	21,10
19	14,18	12,46	14,18	12,46	21,10	22,77	103,22	43,09	47,92	25,10	56,60	21,65
20	14,18	12,46	13,28	11,64	15,52	21,65	167,14	64,08	42,31	25,10	68,98	22,77
21	14,18	12,05	12,87	12,05	73,04	21,10	120,73	76,13	39,98	25,10	61,21	21,65
22	13,73	12,05	12,46	11,64	51,32	29,44	82,57	64,08	47,92	24,51	51,32	22,21
23	13,73	12,05	12,05	11,23	53,05	86,98	57,52	53,05	43,09	23,92	43,86	22,21
24	15,07	12,05	12,05	11,23	39,98	85,88	48,77	45,49	37,77	24,51	39,98	21,65
25	14,18	12,46	11,64	11,64	89,87	81,47	65,04	40,76	34,88	23,92	39,98	21,65
26	13,73	12,05	11,64	11,64	75,10	79,34	58,44	37,77	32,77	23,32	37,77	22,77
27	13,73	12,05	12,46	11,23	38,50	73,04	47,11	36,29	34,18	47,92	36,29	23,32
28	13,28	12,05	18,98	59,36	28,81	75,10	42,31	41,54	34,18	153,93	36,29	22,77
29	13,28		14,18	57,52	25,10	65,04	101,67	38,50	30,11	62,17	33,47	21,65
30	13,28		12,46	36,29	22,77	51,32	95,69	39,24	29,44	39,24	29,44	21,10
31	13,28		12,46			49,62	94,20	38,50		35,58		21,65

Anexo 2. 1. Resumen del análisis estadístico para el largo de LW

	Abr/21	Oct/21	Dic/21	Abr/22	Nov/22	Jun/23	Nov/23
Media	2,610	2,586	2,589	2,564	2,861	2,831	2,696
Mediana	2,188	2,165	2,163	2,165	2,388	2,370	2,318
Mínimo	1,010	1,000	1,000	1,000	1,034	1,014	1,025
Máximo	13,723	13,645	13,733	13,738	13,812	14,112	12,077

Anexo 2. 2. Resumen del análisis estadístico para el diámetro de LW

	Abr/21	Oct/21	Dic/21	Abr/22	Nov/22	Jun/23	Nov/23
Media	0,433	0,441	0,454	0,447	0,417	0,448	0,470
Mediana	0,404	0,403	0,403	0,404	0,379	0,405	0,433
Mínimo	0,103	0,104	0,127	0,100	0,105	0,131	0,124
Máximo	1,51	1,504	1,509	1,497	1,489	1,501	1,496

Anexo 2. 3. Resumen del análisis estadístico para el volumen de LW

	Abr/21	Oct/21	Dic/21	Abr/22	Nov/22	Jun/23	Nov/23
Media	0,612	0,624	0,634	0,616	0,605	0,674	0,668
Mediana	0,265	0,263	0,281	0,276	0,271	0,294	0,336
Mínimo	0,016	0,022	0,025	0,016	0,014	0,019	0,038
Máximo	18,571	18,298	18,812	17,394	17,626	15,694	15,606

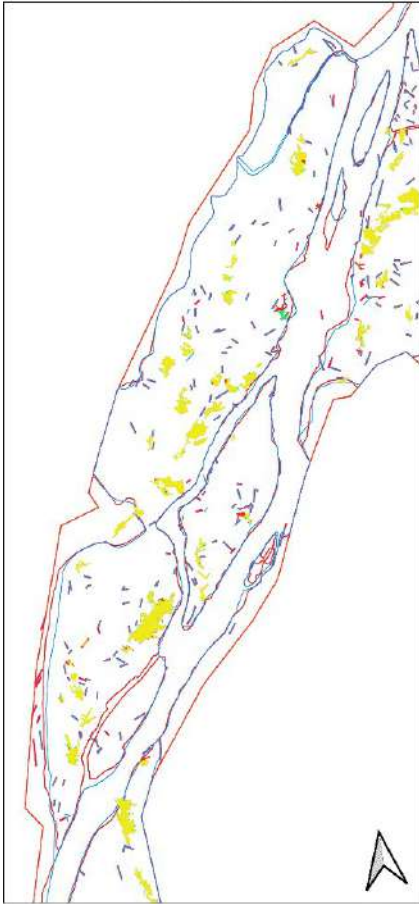
Anexo 2. 4. Resumen del número y volumen (m<sup>3</sup> y m<sup>3</sup>/ha) de LW, WJ y total (en m<sup>3</sup> y m<sup>3</sup>/ha) para cada fecha de vuelo.

Fecha de vuelo	LW			WJ			Volumen Total	
	Número	Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	Número	Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /ha

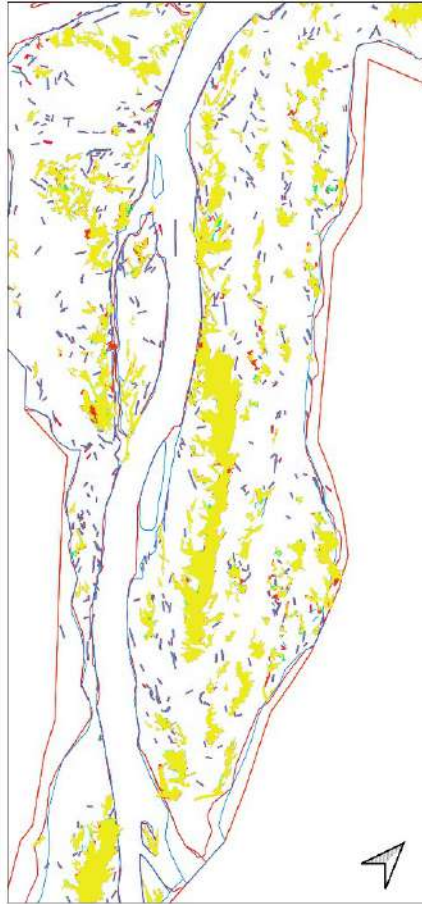
Abr/21	1.085	664,3	51,7	416	2.733,8	212,6	3.398,1	264,2
Oct/21	1.091	680,4	52,9	415	2.858,4	222,3	3.538,8	275,2
Dic/21	1.095	693,8	54,0	413	2.284,9	177,7	2.978,8	231,6
Abr/22	1.057	651,4	50,7	404	3.157,1	245,5	3.808,5	296,2
Nov/22	<b>1.238</b>	<b>752,9</b>	<b>58,5</b>	<b>434</b>	3.033,5	235,9	3.786,4	294,4
Jun/23	714	481,0	37,4	390	3.173,3	246,8	3.654,2	284,2
Nov/23	798	533,8	41,5	429	<b>4.541,5</b>	<b>353,2</b>	<b>5.075,3</b>	<b>394,7</b>

Anexo 3.1 Dinámica de salidas y entrada de madera entre diciembre de 2021 y abril de 2022 en los distintos sectores del área de estudio.

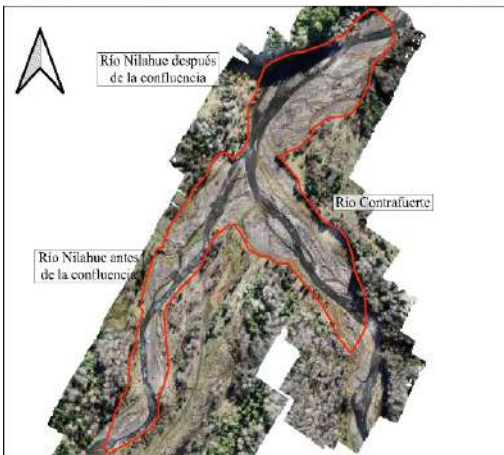
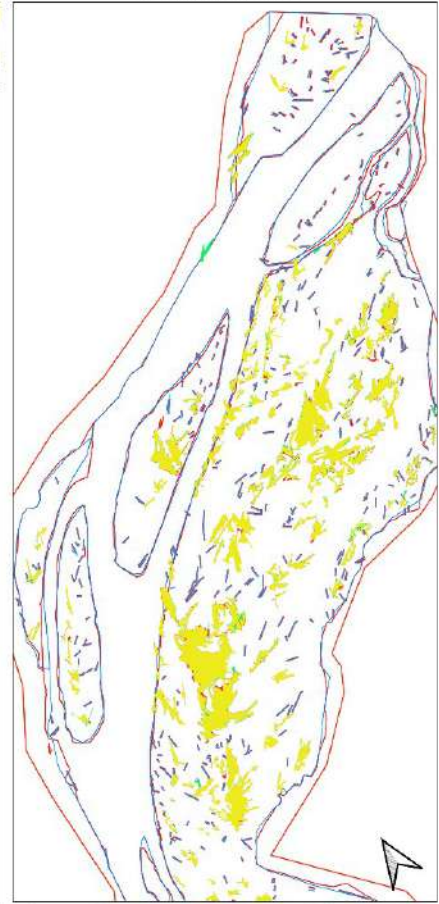
Río Nilahue antes de la confluencia



Río Contrafuerte



Río Nilahue después de la confluencia



### Leyenda

- |                   |                  |                       |
|-------------------|------------------|-----------------------|
| <b>Large Wood</b> | <b>Canal</b>     | <b>Dinámica de WJ</b> |
| — LW Abr/2022     | □ Canal Abr/2022 | ■ Salidas             |
| — LW Dic/2021     | □ Canal Dic/2021 | ■ Estable             |
| □ Área de estudio |                  | ■ Entradas            |

