



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales

Efectos de un incendio forestal sobre la dinámica del material leñoso en el corredor fluvial de la cuenca de Pichún, Nacimiento

Patrocinante: Sr. Andrés Iroumé

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

MARTINA ANTONIA CADAGÁN GUZMÁN

VALDIVIA

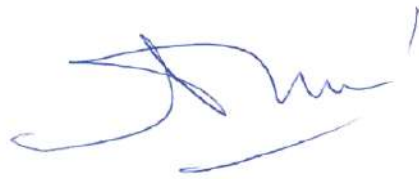
2025

Índice de materias		Página
i	Calificación del Comité de Titulación	i
ii	Agradecimientos	ii
iii	Dedicatoria	iii
iv	Resumen	iv
1	INTRODUCCIÓN	1
2	MÉTODOS	5
2.1	Área de estudio	5
2.2	Diseño general del estudio	7
2.3	Muestreo del material leñoso de gran tamaño (LW)	8
2.4	Procesamiento y depuración de datos	10
2.5	Análisis de LW	10
3	RESULTADOS PRELIMINARES	13
3.1	Abundancia, dimensiones individuales y agregación de LW	13
3.2	Balance de masas de LW (Large Wood Budget)	17
4	REFERENCIAS	22
ANEXOS	1 Tabla de registro de datos de caracterización de LW en terreno	
	2 Componentes del balance de número de piezas (n) de LW y errores de balance por período de muestreo	
	3 Carta Gantt del proyecto de magíster	

Calificación del Comité de Titulación

Patrocinante: Sr. Andrés Iroumé	<u>6,8</u>
Informante: Sr. Bruno Mazzorana	<u>6,7</u>
Informante: Sr. Alberto Paredes	<u>6,9</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.



Dr. Andrés Iroumé A.

Agradecimientos

Quisiera agradecer al proyecto ANID/FONDECYT regular N°1240314 titulado “Cambios por efecto de incendios de la vegetación en la conectividad de agua y sedimentos en cuencas forestadas”, por ser la base esencial de esta investigación. Al equipo del Laboratorio de Hidromorfología, por transmitir sus conocimientos y por la confianza durante las campañas de terreno. Al profesor Andrés Iroumé por darme la oportunidad de integrarme a su laboratorio desde el inicio. A Luisa Villablanca por ser mi primera guía en el laboratorio y una presencia femenina significativa. A Hardin Palacios por los detalles dulces y la buena energía, y a Alberto Paredes por su apoyo constante y la gran disposición a responder cada duda sobre este trabajo.

Como la tesina marca el fin de la etapa de pregrado, también quiero agradecer a las amistades y personas que conocí en Valdivia. En especial a Javier Contreras y Matías Quintanilla por ser mis confidentes y apoyo en tiempos difíciles. A Bárbara Caro y a Joseba Iribarren por apoyarme en esos mismos tiempos con el tema académico, sin ustedes probablemente esta tesina se hubiese entregado un año más tarde. A Alén Miranda, a quién agradezco haber vuelto a encontrar para reírme con sus gracias y por su gran ayuda en temas de SIG, código y trabajos grupales. A todas las personas que me hicieron reír hasta que me dolió el estómago y me dejaron ser yo misma en los momentos de dispersión tan necesarios en esta etapa.

A mi mamá, papá, hermana, primos, Chispa, abuelita Marta, abuelita Chela y abuelito Aurelio por comprender mi ausencia por la carga académica. Gracias por su paciencia, los quiero mucho. A mis amistades del alma y lamentablemente a distancia: Josefa, Monserrat, Sebastián, Thomas, Jazmín, Kimberly, Manuel, Sofía y Francisco, que aunque quizás no lo vean, hicieron un gran aporte en estos años y jamás dejaron que me sintiera sola.

A mi amor, Vicente Fernández, por ser la primera persona que realmente me mostró el proceso de vincularse a un laboratorio y la investigación en la universidad, por ser un informante más de este proyecto y por dedicarme horas de su día para regalarme, cuidarme y escucharme sin importarle tener que trasnochar para seguir con sus propios proyectos. Gracias por siempre estar, sin ti este proceso y los últimos dos años no habrían sido ni la mitad de entretenidos.

Por último, agradecerme a mí, por elegir una carrera que amo a pesar de las dudas y por lograr hacer este proyecto de forma tranquila, amigable y con la menor ansiedad posible. Me prometo seguir así para la verdadera tesis el año siguiente en el magíster.

Dedicatoria

A la infinita diversidad de **ecosistemas**, inmensos y resilientes.

A la fuerza vital del **agua**, fuente inagotable de vida y conocimiento.

Y con profundo respeto, a cada **mujer** guardiana de la vida silvestre y recursos naturales.

A mi tata Roberto Cadagán (Q.E.P.D). Por la siembra invaluable de conocimiento durante mi infancia y por su apoyo final en mi vocación profesional. Aún espero el jeep 4x4.

Resumen

Los sistemas fluviales sostienen procesos hidrológicos, geomorfológicos y ecológicos, donde el material leñoso de gran tamaño (LW) cumple un rol esencial en la estructura y funcionamiento del corredor fluvial. Sin embargo, disturbios severos como los incendios forestales alteran abruptamente la dinámica de LW, al modificar los procesos de reclutamiento, transporte y almacenamiento. En Chile y el mundo limitados estudios abordan la respuesta inmediata de las dinámicas de LW luego de incendios forestales. El incendio de alta severidad ocurrido en febrero de 2023 en la cuenca de Pichún (Nacimiento, Chile) ofrece una oportunidad única para abordar esta brecha. El objetivo de este trabajo será evaluar los efectos del incendio sobre la dinámica del LW en 1 km del cauce principal de la cuenca, comparando períodos pre y post-incendio. Se especula que los efectos del incendio incrementarán el reclutamiento y la movilidad, disminuyendo el almacenamiento inmediatamente post-incendio. Luego, el volumen subiría por el reclutamiento desde la ribera y, a largo plazo, bajaría hasta que el bosque ripariano se regenere, restableciendo gradualmente un aporte de madera más estable al cauce. Metodológicamente, se utilizará una base de datos histórica (2017-2025) construida mediante campañas de terreno anuales, analizando dimensiones, agregación y movilidad mediante el monitoreo de cada pieza. Estos datos se integrarán en una ecuación de balance de masas para estimar entradas, salidas y almacenamiento neto. Resultados preliminares muestran una disminución inicial del 36.7% en abundancia respecto a 2022, correspondiente a la campaña de mayo 2023, seguida por un incremento del 73.2% en 2024, con 13 acumulaciones y 33.6 m^3 (+130.1% pre-incendio). Comprender estas dinámicas es clave para la gestión de cuencas, pues las acumulaciones de LW influyen en el riesgo hidráulico y en la generación de hábitats, retención de sedimentos y heterogeneidad ecológica. Estudio por desarrollar en el marco del proyecto ANID/FONDECYT regular N°1240314.

Palabras clave: madera en el cauce, incendios forestales, presupuesto de madera, movilidad.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas fluviales son elementos esenciales del paisaje, desempeñando un papel clave en la conectividad ecológica y en el funcionamiento hidrológico de las cuencas (Bendix y Cowell 2010). A través de ellos se moviliza agua, sedimentos, nutrientes y materia orgánica, sosteniendo una amplia gama de servicios ecosistémicos tales como la regulación hidrológica y morfológica del cauce, la provisión de hábitat y biodiversidad, y el procesamiento biogeoquímico de nutrientes (Allan y Castillo 2007). El corredor fluvial de una cuenca corresponde a una unidad fundamental para comprender la dinámica de los sistemas fluviales, ya que reconoce explícitamente la conectividad longitudinal, lateral y vertical de estos, considerando las interacciones entre el cauce, la ribera, la llanura de inundación y la zona hiporreica (Wohl *et al.* 2024). Por medio del corredor fluvial, el transporte de agua, sedimentos y material leñoso ocurre desde las zonas altas de las cuencas hasta las zonas de deposición (Gurnell *et al.* 2002, Picco *et al.* 2021), donde el material leñoso de gran tamaño cumple un papel clave como sedimento orgánico (Maser *et al.* 1988).

El material leñoso de gran tamaño (Large Wood en inglés, de ahora en adelante “LW”), corresponde a todo trozo de madera de un diámetro superior a 10 cm y un largo mayor a 1 m, encontrándose tanto en los cauces como en las llanuras inundables adyacentes (Ulloa *et al.* 2011). Estos troncos y ramas grandes pueden alterar significativamente las condiciones hidrológicas y geomorfológicas del sistema al modificar el flujo del agua incrementando el coeficiente de rugosidad hidráulica del canal y de las llanuras de inundación (en el caso de desbordamientos), lo que puede llevar a una disminución de la velocidad del agua (Bendix y Cowell 2010). El LW contribuye al ecosistema a través de la formación de bancos de sedimentos que proporcionan nuevos hábitats fluviales, proveyendo de energía a diferentes organismos acuáticos y ribereños (Chen *et al.* 2005). No obstante, las grandes acumulaciones de LW (o Wood Jam, de ahora en adelante “WJ”) también pueden modificar la trayectoria del canal, generar meandros o redirecciones en el flujo. Al actuar como barreras, cambian los procesos de transporte de sedimentos afectando la calidad del agua y la estructura del ecosistema (Bendix y Cowell 2010). Desde la perspectiva de la gestión del riesgo y navegación, este material suele percibirse como un obstáculo, así como un factor que aumenta el peligro durante eventos de inundación (Mao *et al.* 2013).

La dinámica del LW depende de tres procesos principales: reclutamiento, movilidad y almacenamiento (Wohl *et al.* 2017). El reclutamiento de LW se define como la incorporación de madera hacia el corredor fluvial a través de una serie de procesos naturales que actúan a distintas escalas espaciales y temporales (Swanson *et al.* 2021). Este puede originarse por mortalidad natural de árboles,

erosión de orillas, deslizamiento o disturbios que incorporan grandes volúmenes de madera al cauce en cortos períodos (Jones y Daniels 2008, Wohl 2013). A diferencia del reclutamiento en condiciones estables, eventos como grandes crecidas, flujos de detritos o aludes provocan pulsos repentinos de LW al movilizar material hacia el corredor (Hortobagyi *et al.* 2024). Es importante precisar que, si bien estos procesos implican el transporte de madera a lo largo de la red hídrica de la cuenca, actúan como mecanismos de reclutamiento (entradas) para un segmento específico en la medida que el material es depositado dentro de sus límites (Benda y Sias 2003). Por otro lado, los eventos de mortalidad masiva de árboles por viento, tala, hielo o insectos también tienen un efecto relevante pero más retardado en el tiempo (Jones y Daniels 2008, Bendix y Cowell 2010).

La movilidad se da principalmente durante eventos de crecida, siendo mayor para fragmentos pequeños y en cauces más anchos y profundos, mientras que piezas cuyo largo supera en más de 1,5 veces el ancho del canal pueden actuar como “madera clave”, quedando ancladas y favoreciendo la estabilidad de WJ. Esta capacidad de retención favorece el almacenamiento de LW en el canal, contribuyendo a su permanencia y a la conformación de estructuras complejas dentro del corredor fluvial (Iroumé *et al.* 2011).

Una forma de cuantificar estos procesos es a través del balance de LW (Wood budget), el cual se expresa como una ecuación de masa que, según la formulación propuesta Benda y Sias (2003) cuantifica la dinámica de la madera dentro de un segmento de cauce de longitud definida y sobre un intervalo de tiempo. Esta ecuación considera tres componentes dinámicos:

1. Las entradas o reclutamiento, que ocurren por el aporte lateral (caída desde las riberas, erosión o movimientos en masa) y por la flotación (ingreso de piezas transportadas desde aguas arriba).
2. Las salidas o pérdidas, que son la remoción del material del segmento estudiado. Estas incluyen la exportación por flotación hacia aguas abajo y la deposición lateral en la llanura de inundación. También se considera la pérdida in situ por descomposición (decay) y rotura mecánica (breakage), la cual representa la degradación del material (putrefacción biológica o fragmentación por abrasión) hasta que deja de cumplir con las condiciones para considerarse LW, retirándolo efectivamente del balance.
3. El almacenamiento, que representa el cambio neto en el volumen de LW dentro del segmento a lo largo del período determinado.

Este balance puede tener tasas positivas (acumulación neta de madera) o negativas (pérdida neta de madera), determinándose así la cantidad y distribución de LW en el sistema o corredor fluvial (Benda y Sias 2003, King *et al.* 2013).

El comportamiento del LW está intrínsecamente ligado a una variedad de alteraciones, donde cada tipo de disturbio influye de manera distinta en la cantidad, tamaño, forma y el momento en que el LW llega al río, así como en su movilidad y distribución posterior dentro del sistema fluvial. (Jones y Daniels 2008). Dentro de ellos, según Jones y Daniels (2008) disturbios a gran escala como incendios forestales son los principales responsables de grandes incorporaciones de LW, ya que alteran la hidrología de la cuenca y modifican tanto el aporte como las características de la madera. El fuego reduce la capacidad de infiltración del suelo, lo que se traduce en un incremento del escurrimiento superficial, intensificando el transporte de sedimentos y de LW durante inundaciones posteriores y movilizándolo grandes cantidades desde las llanuras de inundación hacia el cauce principal (Swanson 1981). Los incendios forestales pueden desencadenar ciclos de retroalimentación en los que la disponibilidad de LW actúa como combustible para futuros incendios, aumentando la severidad de estos al concentrar grandes cantidades de madera seca en el suelo (Bendix y Cowell 2010).

Los incendios de alta severidad queman extensamente el dosel forestal y modifican el LW, ya que los troncos de los árboles pueden sobrevivir, pero la mayoría de las ramas son consumidas, dando como resultado piezas de madera más rectas y cilíndricas, lo que reduce su anclaje en el cauce (Burton 2005). Asimismo, la madera quemada suele presentar un mayor diámetro, pero menor densidad y durabilidad, lo que favorece una descomposición (decay) más rápida y, por ende, una mayor movilidad (King *et al.* 2013, Vaz *et al.* 2015). Por último, las altas temperaturas pueden dañar y matar las raíces de las plantas, lo que lleva a una reducción de la fuerza de anclaje y una pérdida de cohesión del suelo, especialmente en las orillas, facilitando los movimientos en masa post-incendio en la zona ribereña (Swanson 1981, Burton 2005, Neary *et al.* 2011, Wohl *et al.* 2020).

En consecuencia, los incendios forestales alteran significativamente los tres componentes del balance de LW: entradas, almacenamiento y salidas. Las entradas tienden a incrementarse bruscamente por la caída de árboles quemados y por aportes desde movimientos en masa, sumando grandes volúmenes de madera en cortos períodos. Sin embargo, este aumento no garantiza un mayor almacenamiento, ya que el material suele presentar menor complejidad estructural y anclaje, lo que junto a la alteración del canal y la intensificación de los caudales post-incendio, facilita su movilización. De esta manera, las salidas de LW pueden incluso superar los ingresos iniciales (balance negativo), reduciendo su retención y perdiendo madera clave para el ecosistema fluvial. Así, los incendios no solo modifican el volumen de LW disponible, sino también su permanencia y rol dentro del corredor, afectando procesos geomorfológicos y ecológicos durante años o incluso décadas (Jones y Daniels 2008, Bendix y Cowell 2010, King *et al.* 2013).

En Chile, los estudios sobre dinámica de LW han permitido avanzar en la comprensión de sus procesos de reclutamiento, movilidad y almacenamiento (Iroumé *et al.* 2010, Iroumé *et al.* 2011, Ulloa *et al.* 2011). Entre las cuencas estudiadas destaca la del estero Pichún, ubicada en la comuna de Nacimiento (Región del BíoBío). En este contexto, el incendio forestal de alta severidad ocurrido en febrero de 2023 en la cuenca de Pichún representa una oportunidad única para profundizar en los efectos de este tipo de disturbios sobre la dinámica del LW.

A partir de la evidencia disponible en la literatura y de las condiciones observadas en la cuenca de Pichún, se plantea que el incendio podría desencadenar un proceso en cascada en la dinámica del LW, caracterizado por una serie de respuestas sucesivas en el corredor fluvial. En una fase inicial, se esperaría un aumento abrupto del reclutamiento producto de la caída inmediata de árboles quemados y de movimientos en masa favorecidos por la pérdida de cohesión del suelo. Posteriormente, este pulso podría ser seguido por un período de “lavado” del material recién incorporado debido a la alta escorrentía y a crecidas más frecuentes post-incendio, lo que reduciría temporalmente el almacenamiento. En etapas posteriores, la caída progresiva de árboles muertos en pie (snags) contribuiría a incrementar el aporte y el almacenamiento de madera, hasta finalmente alcanzar una fase futura de declinación asociada a la disminución de la disponibilidad de LW de los bosques quemados en la zona ripariana, y a la lenta recuperación de la vegetación arbórea ribereña.

La mayoría de los estudios previos que abordan la relación entre incendios y LW han descrito impactos generales, tales como el aumento en el reclutamiento o la alteración en su distribución (Chen *et al.* 2005, Jones y Daniels 2008, Bendix y Cowell 2010, King *et al.* 2013). Sin embargo, persiste un vacío importante en el conocimiento relacionado con la dinámica temporal del LW posterior a estos eventos, especialmente en lo que respecta a cómo evolucionan sus características físicas, su balance (entradas, almacenamiento y salidas), su movilidad y su persistencia a lo largo del tiempo (Wohl 2017).

Este trabajo buscará aportar a ese vacío, aprovechando una base de datos histórica recopilada por el Laboratorio de Hidromorfología de la Universidad Austral de Chile entre los años 2008 y 2024, que documenta condiciones pre y post incendio en la cuenca Pichún. A diferencia de muchos trabajos que solo ofrecen una “instantánea” del estado postfuego, esta investigación adopta una perspectiva temporal, permitiendo observar los cambios desde sus fases iniciales. De este modo, se espera generar evidencia empírica valiosa para comprender la trayectoria a corto y mediano plazo del material leñoso luego de un incendio, lo cual es clave para mejorar los modelos conceptuales y predicciones sobre la dinámica del LW en cuencas sometidas a disturbios intensos.

A raíz de lo anterior, se plantea la siguiente hipótesis:

- Los efectos del incendio forestal ocurrido en 2023 en la cuenca de Pichún incrementarán significativamente el reclutamiento y la movilidad de LW inmediatamente luego del incendio, pero hacia el mediano y largo plazo ocurrirá una disminución del almacenamiento de LW en el corredor fluvial.

El objetivo general de este estudio es evaluar los efectos de un incendio forestal en la dinámica del material leñoso en un segmento de 1 km del corredor fluvial de la cuenca de Pichún, Nacimiento.

Para ello, se consideran los siguientes objetivos específicos:

- I. Comparar cambios en las características del material leñoso (abundancia, dimensiones individuales, tipo de agregación) entre periodos pre y post-incendio del corredor fluvial.
- II. Analizar la movilidad de LW (% de piezas y distancia movilizadas) entre periodos pre y post-incendio.
- III. Establecer los posibles cambios en los componentes del balance de madera (LW que ingresaron y salieron por flotación, caída desde las márgenes, y descomposición natural) entre periodos pre y post-incendio.
- IV. Jerarquizar los principales drivers geomorfológicos, hidrológicos y estructurales que controlan la probabilidad y magnitud de la movilidad de LW post-incendio a escala de tramo.

2. MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El área de estudio se emplaza dentro del territorio administrado por Forestal Mininco SpA. (CMPC) y corresponde a la cuenca de Pichún (cuenca N11 de una red de cuencas monitoreadas en la zona, Iroumé *et al.* (2021)). Esta se localiza a 20 km hacia el suroeste de la localidad de Nacimiento, Región del Biobío (37°30'12"S, 72°45'54"W) (Iroumé *et al.* 2020). Se emplaza en la Cordillera de la Costa, sobre una geología dominada por rocas metamórficas y suelos de texturas franco-arcillosas a arcillosas, y presenta un clima mediterráneo con veranos secos y cálidos, y una precipitación media anual de aproximadamente 1381 mm a largo plazo, aunque ha experimentado una sequía prolongada desde 2010 (Iroumé *et al.* 2021). Según Iroumé *et al.* (2020) la distribución base (2008) consistía en un 84% de *Eucalyptus spp*, un 11% de bosque ribereño y un 5% de caminos. Sin embargo, la cobertura ha sido dinámica (Iroumé *et al.* 2021) puesto que tras realizarse cortas parciales de eucalipto de 44, 14 y 99 hectáreas entre los años 2015 y 2017, dichas áreas fueron reforestadas progresivamente, completándose

el proceso durante 2018. La vegetación ribereña, al momento del estudio de Ulloa *et al.* (2011) con un ancho promedio de 25 metros a cada lado del cauce, corresponde a un bosque nativo degradado del tipo Roble-Raulí-Hualo, invadido por ejemplares de *Pinus radiata* de rotaciones anteriores que representan el 21% del área basal ribereña.

El sitio de estudio corresponderá a un segmento de 1.004 metros de largo, descrito por Ulloa *et al.* (2011). El segmento corresponde a un cauce de tercer orden, con un canal de 0,48 ha a nivel de cauce lleno y se encuentra dividido en 12 tramos definidos según criterios geomorfológicos (la uniformidad de la pendiente, la sinuosidad, el ancho del canal y la abundancia de material leñoso) y delimitados en terreno mediante una serie de estacas consecutivas instaladas previamente (figura 1). La cuenca al cierre del extremo de aguas abajo del segmento abarca una superficie de 431 hectáreas (Iroumé *et al.* 2011).

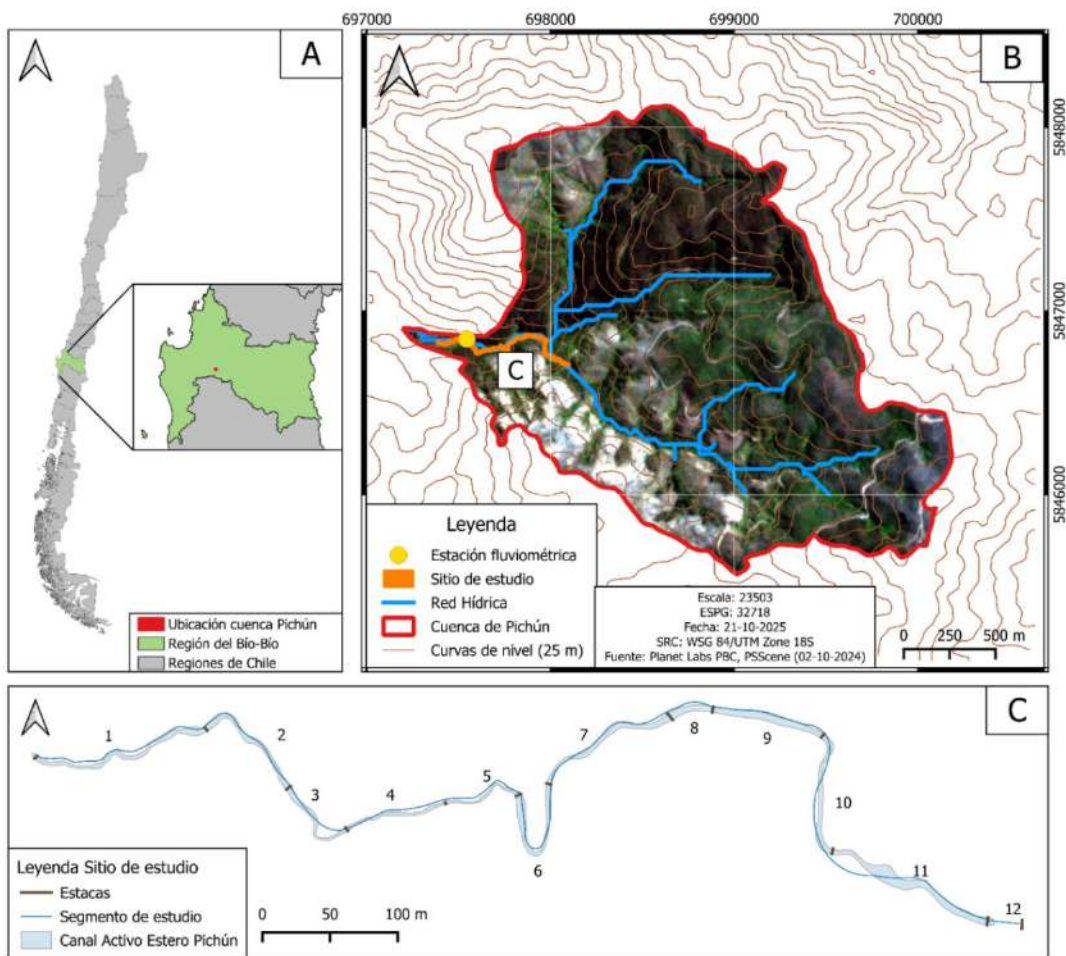


Figura 1. Área de estudio correspondiente a la cuenca de Pichún. El recuadro A) presenta la ubicación geográfica de la cuenca en el contexto nacional y regional. El recuadro B) muestra la delimitación de la cuenca, la red hídrica principal, la estación fluviométrica. Finalmente, el recuadro C) detalla el segmento de estudio correspondiente al Estero Pichún, dividido en 12 tramos y delimitado mediante estacas (Elaboración propia). Fuente imagen satelital: PlanetScope SuperDove, Planet Labs PBC.

Dentro de la cuenca se encuentra operando desde el año 2008 una estación fluviométrica (figura 1), con un registro continuo de niveles de agua, posteriormente transformados a valores de caudal para los análisis hidrológicos. La cuenca hidrológicamente controlada por esta estación es de 413 ha (Iroumé *et al.* 2015) ligeramente de menor extensión que el área total de la cuenca cartografiada. Adicionalmente, el área de estudio cuenta con registros de precipitación disponibles para el período 2008-2025.

2.2 Diseño general del estudio

Este estudio se desarrollará bajo un enfoque comparativo pre y post incendio utilizando la base de datos histórica obtenida por el Laboratorio de Hidromorfología de la Universidad Austral de Chile entre 2008 y 2024. Sin embargo, para los análisis de este proyecto se considerará el período comprendido entre 2017 y 2025, ya que este intervalo incluye mediciones previas al incendio de 2023 y registros posteriores al evento, con mayor continuidad y consistencia metodológica. La campaña post-incendio se realizará utilizando el mismo protocolo de muestreo y análisis aplicado en la campaña pre-incendio, asegurando la comparabilidad entre ambos períodos.

Las campañas de monitoreo de LW no siempre se realizaron dentro del mismo año calendario, pudiendo efectuarse a fines del año correspondiente o a inicios del siguiente. Sin embargo, para efectos de este estudio, cada campaña se atribuye al año que representa metodológicamente, independiente de su fecha exacta de ejecución. La siguiente tabla (cuadro 1) detalla las fechas de realización de cada campaña considerando este criterio.

Cuadro 1. Fechas de realización de las campañas de monitoreo de LW.

Campaña	Fecha de realización
2017	08 de mayo de 2018
2018	05 de noviembre de 2018
2019	06 de enero de 2020
2020	Suspendida por pandemia
2021	15 de noviembre de 2021
2022	26 de diciembre de 2022
Mayo 2023	22 de mayo de 2023
Diciembre 2023	12 de diciembre de 2023
2024	26 de noviembre de 2024
2025	Programada para enero 2026

2.3 Muestreo del material leñoso de gran tamaño (LW)

Se realizará la misma metodología que ha sido replicada de manera consistente en cada campaña pre-incendio, la cual se basa en el método descrito por Ulloa *et al.* (2011). Adaptando este procedimiento, se medirán todas las piezas de madera con un diámetro mayor a 10 cm y una longitud superior a un metro (LW), tanto en los cauces como en las orillas adyacentes. Para esto, se utilizará una cinta métrica y una forcípula, que permitirán obtener las medidas de largo y diámetro medio. A partir de estas dimensiones, se estimará el volumen individual de cada pieza asumiendo una forma cilíndrica. La ubicación de cada pieza se registrará midiendo la distancia y la orientación en relación con elementos naturales, como rocas y grandes árboles, o las estacas de cada tramo. En la medida que el material leñoso lo permita, se colocará una chapa metálica numerada para identificarlo (tag) y facilitar el seguimiento de su movilidad y la distancia recorrida a lo largo del cauce, mientras que los elementos de mayor tamaño serán identificados con hasta cinco placas. En el caso de las acumulaciones, se medirán las dimensiones específicas de cada pieza que la conforma, siempre que la estructura lo permita.

Para asegurar una caracterización detallada y consistente del LW, se empleará una ficha de registro estandarizada utilizada previamente por Ulloa *et al.* (2011). A continuación, se presenta en el cuadro 2 la síntesis con los campos y categorías que serán registrados en terreno.

Cuadro 2. Campos y categorías considerados en la ficha de registro utilizada para la caracterización del LW. Elaboración propia.

Categoría	Clasificación	Descripción
Especie	Latifoliadas - Coníferas	Clasificación general de la especie de origen de la pieza.
Posición en el canal	Margen - Dentro del canal - Suspendido sobre el canal - Escalón de tronco	Determinada según su ubicación relativa al cauce lleno.
Tipo de pieza	Tronco – Raíces – Ramas - Árbol	Identificación de la estructura principal que compone la pieza.
Patrón de agregación	Individual (LW) – Acumulación (WJ)	Se define acumulación cuando tres o más piezas están en contacto físico entre sí.
Orientación respecto al flujo	Paralela-Perpendicular-Oblicua	Dirección de la pieza en relación con el sentido del flujo.
Estado de degradación	Fresco-Medio-Viejo-Muy descompuesto-Vivo	Fresco: con corteza y hojas. Medio: sin corteza ni hojas, pero la madera no muestra porosidad ni descomposición. Viejo: presenta signos de ataques de hongos o insectos. Muy descompuesto: madera extremadamente porosa y se deshace fácil. Vivo: troncos enraizados a la orilla del cauce.

La ficha completa utilizada en terreno, con todos los campos de la planilla original, se presenta en el anexo 1.

Cada campaña incluye un proceso de reconocimiento de todas las chapas instaladas en el monitoreo del año anterior, con el objetivo de identificar qué piezas permanecen en su ubicación original, cuáles han sido movilizadas y cuáles han entrado o salido del segmento de estudio. También, en cada campaña se vuelven a medir todas las características registradas para cada pieza de LW.

2.3 Procesamiento y depuración de datos

Los datos en bruto obtenidos serán procesados mediante el programa Excel (Microsoft Office). En primer lugar, se revisará la base de datos previa al incendio con el fin de detectar y corregir registros incompletos, duplicados, inconsistentes o con errores de digitación. Posteriormente, se incorporarán los registros obtenidos durante las campañas post-incendio, digitalizando la información de terreno y verificando que todas las piezas observadas en el segmento estén correctamente representadas en la base de datos.

Luego se validará la correspondencia entre las piezas históricas y las observadas post-incendio, para lo que se utilizará la ubicación registrada, el número de chapa y características individuales de cada pieza. Permitiendo identificar qué piezas corresponden a elementos previamente muestreados, aquellos que han sido movilizadas respecto del año anterior y distinguir las piezas que ingresaron o que salieron del segmento de estudio.

El segmento y tramos definidos por Ulloa *et al.* (2011) serán utilizados únicamente como referencia inicial, puesto que durante el desarrollo de este proyecto se remedirán en terreno para actualizar sus dimensiones y delimitaciones. Se realizará una caracterización geomorfológica del canal siguiendo a Iroumé *et al.* (2020) lo que incluirá el levantamiento del perfil longitudinal y la medición de secciones transversales para obtener parámetros como pendiente, ancho y profundidad a nivel de bankfull. De manera complementaria, se realizará la georreferenciación de todas las estacas que delimitan el segmento mediante un receptor GPS, con el fin de obtener su posición exacta. Esta información permitirá recalcular la superficie del canal activo (ha), recalibrar la cartografía generada en QGIS y obtener dimensiones actualizadas y geoméricamente coherentes con las condiciones post-incendio.

2.4 Análisis de LW

Los análisis estadísticos se realizarán en Rstudio (versión 4.3.2). Para evaluar los posibles cambios en las características del LW: abundancia (número de piezas por hectárea del canal a capacidad de cauce

llo), las dimensiones individuales (largo, diámetro y volumen) y la organización de las piezas (proporción de piezas individuales y en acumulación), se verificará inicialmente el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. La normalidad de las dimensiones individuales se evaluará mediante la prueba de Shapiro-Wilk, considerándose un valor de $p < 0,05$ como criterio para rechazar la normalidad.

Dado que las variables ecológicas del LW corresponden a datos que presentan alta variabilidad natural, valores extremos y distribuciones marcadamente sesgadas (high skewness) tal como lo ha evidenciado la literatura en análisis anteriores (Marcus *et al.* 2011, King *et al.* 2013), se anticipa que no se cumplirán los supuestos requeridos por las pruebas paramétricas. Por consiguiente, en caso de rechazar la normalidad, se emplearán métodos estadísticos no paramétricos para las comparaciones.

Para comparaciones entre múltiples grupos, como los distintos tramos del segmento, se aplicará la prueba de Kruskal-Wallis, mientras que, para comparaciones entre dos grupos, como pre-incendio versus post-incendio a nivel del segmento completo o la comparación entre piezas individuales y piezas acumuladas, se aplicará la prueba de Mann-Whitney U. En ambos casos se considerará un nivel de significancia $\leq 0,05$. Además, se generarán gráficos que permitirán visualizar los patrones de distribución temporal de la abundancia, las dimensiones y la organización del LW.

La movilidad del LW se determinará comparando la ubicación de las piezas entre cada año de campaña, identificando cuáles permanecen estables, cuáles se movilizan dentro del segmento y cuáles ingresan o salen de este. La distancia movilizada se calculará mediante la diferencia espacial entre posiciones, apoyándose en la georreferenciación de las estacas y cualquier pieza que no haya sido encontrada, se registrará como fuera del sitio de estudio. A partir de estos datos se calcularán dos métricas: el porcentaje anual de piezas movilizadas y distancia recorrida por cada elemento.

El porcentaje de movilidad se definirá como la proporción de piezas que se desplazan en cada año (o período) respecto del total registrado en la campaña anterior. Para cuantificar la influencia de los eventos hidrológicos sobre la movilidad, se establecerán modelos de regresión múltiple, en los cuales el porcentaje de piezas movilizadas actuará como variable dependiente en función de variables hidrológicas independientes derivadas de los datos de la estación fluviométrica, tales como caudal máximo, el número de crecidas que superan el nivel de cauce lleno (bankfull) y las características temporales de los eventos de precipitación (Iroumé *et al.* 2015). Adicionalmente, y con el fin de explorar relaciones no lineales y determinar la importancia relativa de las variables, estos análisis se complementarán con un modelo de aprendizaje automático tipo Random Forest, que permitirá jerarquizar las variables que controlan la movilidad de LW post-incendio.

En el caso de la distancia recorrida, esta se analizará mediante regresiones múltiples tanto en relación con las variables hidrológicas arriba mencionadas, como considerando las dimensiones individuales del LW movilizado (largo, diámetro, volumen). Tanto para el porcentaje de movilidad como para la distancia movilizadora, las regresiones se considerarán significativas cuando el valor de P sea menor a 0,1.

Además, la información espacial recopilada en terreno será incorporada a un proyecto en QGIS v3.40.6, donde se integrarán las posiciones de los troncos registrados en terreno, permitiendo verificar la correspondencia espacial entre campañas, identificar desplazamientos de las piezas respecto al año anterior y detectar la formación, estabilidad o desaparición de acumulaciones de LW a lo largo del tiempo.

El análisis del balance de LW se realizará a partir del volumen total de LW registrado en cada campaña, permitiendo estimar para cada año las entradas, salidas y el almacenamiento neto dentro del segmento de estudio. Para ello, se empleará una adaptación de la ecuación de balance de masa de LW propuesta por Benda y Sias (2003) la cual se centra en el cambio de volumen (m^3) dentro del segmento a lo largo del tiempo (Iroumé et al. 2020):

$$V_{t+1} = V_t + Q_{Fi} + Q_{Li} - Q_{Fo} - D \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde:

- V_{t+1} y V_t representan el volumen total de LW almacenado al final e inicio del intervalo de tiempo Δt .
- Q_{Fi} y Q_{Fo} son los volúmenes de LW que ingresan y salen por transporte fluvial (flotación) respectivamente.
- Q_{Li} es el volumen de madera reclutado desde los márgenes.
- D incluye tanto la descomposición (decay) como la rotura (breakage).

Las entradas corresponderán al volumen de piezas que no estaban presentes el año anterior y aparecen dentro del segmento en la campaña siguiente, ya sea por flotación desde aguas arriba o por reclutamiento lateral desde los márgenes. Las salidas se determinarán como el volumen de piezas previamente registradas que dejan de encontrarse dentro del segmento y el almacenamiento se calculará como la diferencia en el volumen total de LW entre campañas consecutivas. Además, D se calculará como la variación entre campañas del volumen total de las piezas individuales, es decir, cambios en el largo y diámetro. Con estos componentes se construirá el balance anual de LW del segmento y posteriormente se compararán las tendencias entre los períodos pre y post incendio.

3. RESULTADOS PRELIMINARES

A continuación, se presentan los resultados preliminares correspondientes al período 2017 - 2024, que componen el conjunto de datos actualmente disponible y procesado para el análisis. Si bien el diseño del estudio contempla información hasta el 2025, la disponibilidad y validez de las campañas ya sistematizadas permiten establecer las primeras tendencias sobre la dinámica del LW antes y después del incendio. Se realizó una campaña por año a lo largo del período de estudio y dos campañas de forma puntual en 2023 para caracterizar con mayor detalle las condiciones post-incendio. Dado su carácter preliminar, estos resultados se presentan enfocados en las tendencias descriptivas de las variables, sin incorporar aún el análisis estadístico para determinar la significancia de los cambios observados.

4.1 Abundancia, dimensiones individuales y agregación de LW

La abundancia total de piezas de LW presentó variaciones claras a lo largo del período de estudio (figura 2). En el período pre-incendio (2017-2022), el número total de piezas mostró una tendencia creciente. El estudio inició con una cantidad inicial de 58 piezas en 2017 y alcanzó su máximo en 2021 con 86 piezas, para posteriormente descender a 71 piezas en 2022.

Tras el incendio forestal, se evidenció una disminución inmediata en la abundancia de LW, donde la medición realizada en mayo de 2023 (inmediatamente después del incendio) registró el valor más bajo de la serie temporal, con solo 44 piezas. Esta cifra representa una reducción del 38% respecto al total registrado en 2022.

En el período post-incendio, las mediciones indican un rápido incremento. En diciembre de 2023, el número total de piezas aumentó a 87, superando el máximo histórico pre-incendio. Finalmente, en 2024, la abundancia de LW alcanzó un máximo de 123 piezas, valor que representa un aumento del 73,2% respecto al número total registrado inmediatamente antes del incendio en 2022.

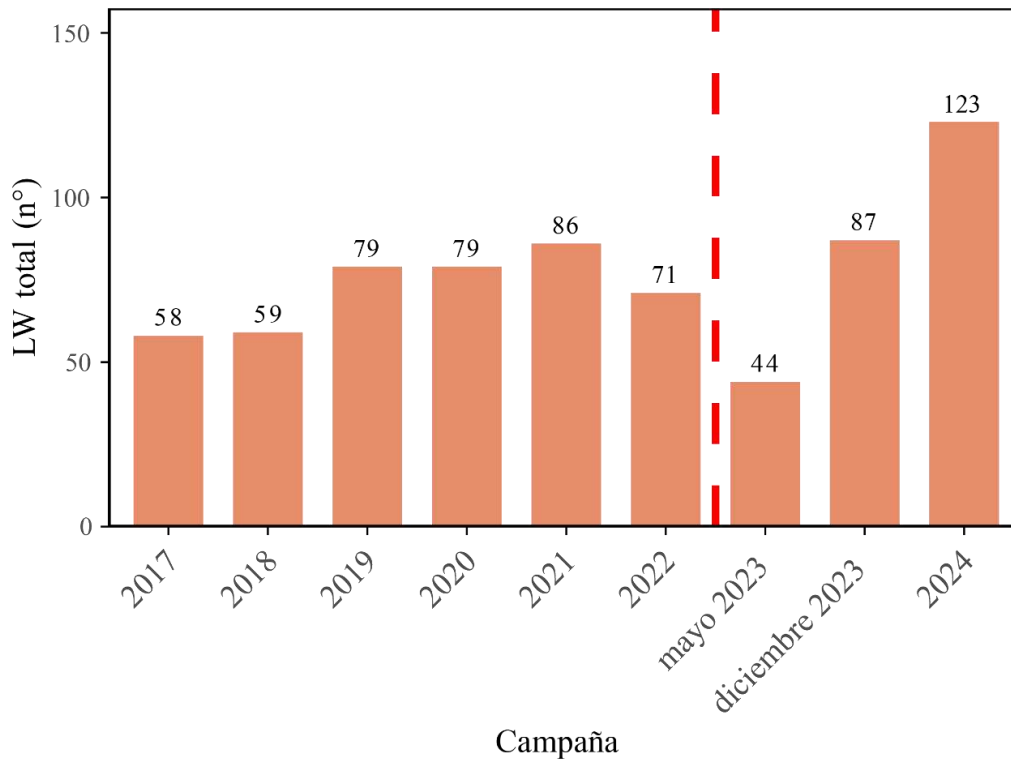


Figura 2. Abundancia de piezas de LW a lo largo del período de estudio. La línea roja discontinua indica el incendio forestal ocurrido en febrero de 2023.

La distribución de los diámetros, longitudes y volúmenes de las piezas de LW se presenta en la figura 3. En el período pre-incendio, los diámetros de las piezas de LW presentaron medianas entre 0,16 y 0,20 m, con un valor máximo de 1,2 m. En el período post-incendio, las medianas se mantuvieron dentro de un rango menor, entre 0,1 y 0,18 m, mientras que los valores máximos alcanzaron un diámetro de 0,9 m. La longitud presentó medianas pre-incendio entre 3,18 y 4,5 m, con longitudes máximas de hasta 19 m. En el período post-incendio, las medianas dentro de un rango más acotado, entre 3,5 y 3,9 m, mientras que los valores máximos alcanzaron longitudes máximas mayores entre 24 y 33 m. El volumen individual presentó medianas pre-incendio entre 0,079 a 0,100 m³, con volúmenes máximos de hasta aproximadamente 2,67 m³. En el período post-incendio, las medianas se ubicaron en un rango más amplio, entre 0,087 y 0,132 m³, observándose volúmenes máximos de 3,4 m³.

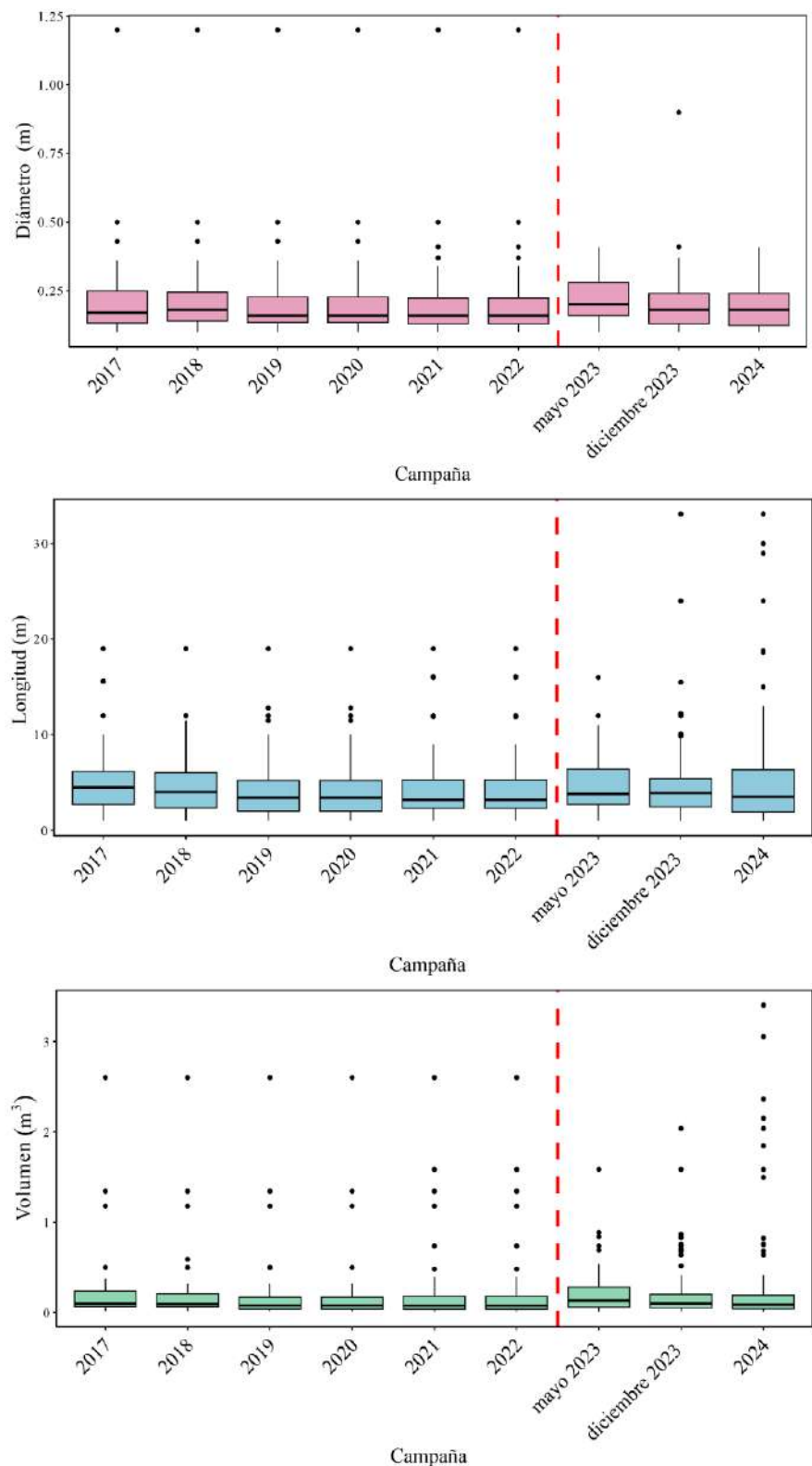


Figura 3. Diámetro (m), longitud (m) y volumen (m³) de LW a lo largo del período de estudio. Cada diagrama de caja muestra la mediana, los percentiles 25 y 75 (Q1-Q3), los valores dentro de 1,5 x IQR y los valores atípicos. La línea roja discontinua indica el incendio forestal ocurrido en febrero de 2023.

La proporción de piezas de LW individuales y formadoras de acumulaciones (JFLW) a lo largo del período de estudio se presenta en la figura 4. Durante los años 2017 y 2018, la gran mayoría de las piezas se registró como LW individual, con proporciones de 94,83% y 94,92% respectivamente. En consecuencia, la presencia de JFLW se mantuvo baja, representando el 5,12% del total de piezas almacenadas. A partir de 2019, la proporción de JFLW experimentó un aumento, variando entre 17 y 20% aproximadamente en los años siguientes. En el período post-incendio, la proporción de JFLW en la campaña de mayo de 2023 fue similar, pero aumentó hacia diciembre del mismo año, alcanzando un 28,7% del total de piezas. Finalmente, en 2024 se registró el valor más alto para todo el período de estudio, con un 52,9% de JFLW, superando por primera vez al LW individual.

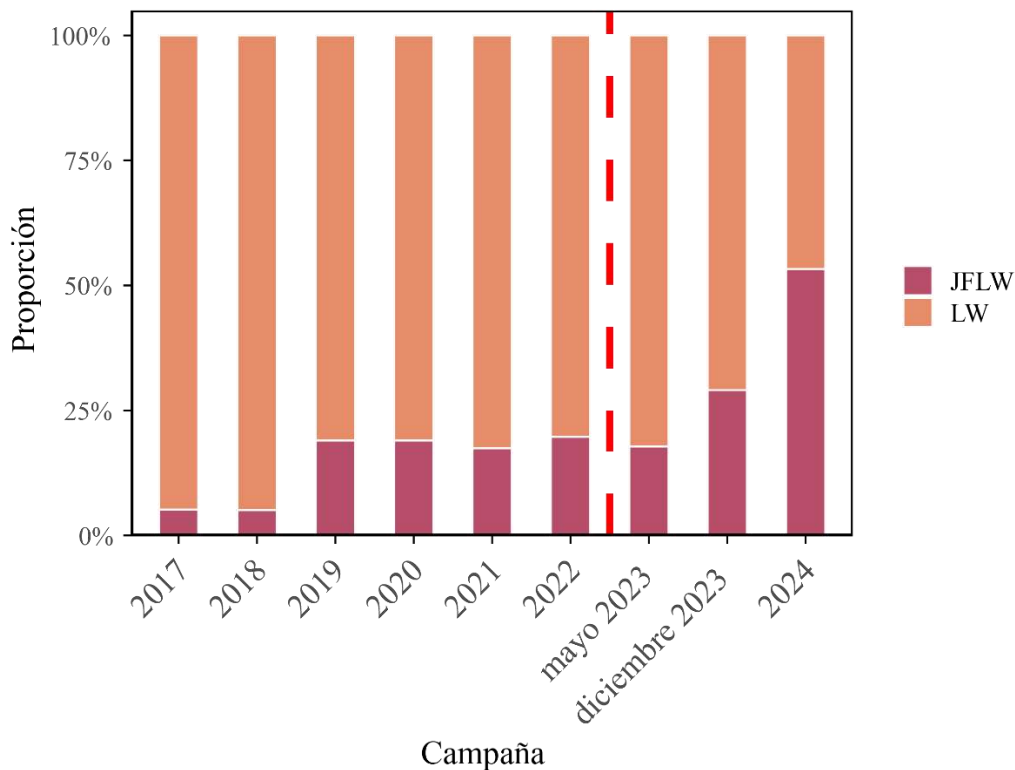


Figura 4. Proporción de piezas LW individuales y JFLW en el período de estudio entre 2017 y 2024.

La línea roja discontinua indica el incendio forestal ocurrido en febrero de 2023.

El número anual de wood jams (WJ) evidenció variaciones marcadas a lo largo del período de estudio, con cambios tanto en los procesos de formación como de pérdida antes y después del incendio forestal (figura 5). En el período pre-incendio, en 2017 y 2018 se registró un único WJ, mientras que en 2019, 2020 y 2021 el total aumentó a 5. En 2022 se observaron 2 WJ formados y 3 perdidos, resultando en un total anual de 4. En el período post-incendio, el número total de WJ disminuyó a 2 en mayo de 2023, con

1 formación y 3 pérdidas, aumentando a 5 en diciembre de ese mismo año, con 4 formados y 1 perdido. Finalmente, en 2024 se registró el valor más alto para todo el período de estudio, con 13 WJ en total, producto de 12 formaciones y 4 pérdidas.

Los WJ pre-incendio estuvieron formados por piezas de dimensiones individuales moderadas, con diámetros alcanzando máximos entre 0,23 y 0,27 m, con longitudes máximas cercanas a 8 m y volúmenes individuales que no superaron los 0,36 m³. En el período post-incendio, los WJ incorporaron piezas considerablemente mayores. En diciembre 2023 se registraron diámetros de hasta 0,40 m, longitudes máximas entre 12 y 33 m y volúmenes de hasta 2,04 m³, mientras que en 2024 se alcanzaron los valores más altos para todo el período de estudio, con diámetros entre 0,38 a 0,40 m, con longitudes máximas de 30 a 33 m y volúmenes entre 1,85 y 3,40 m³.

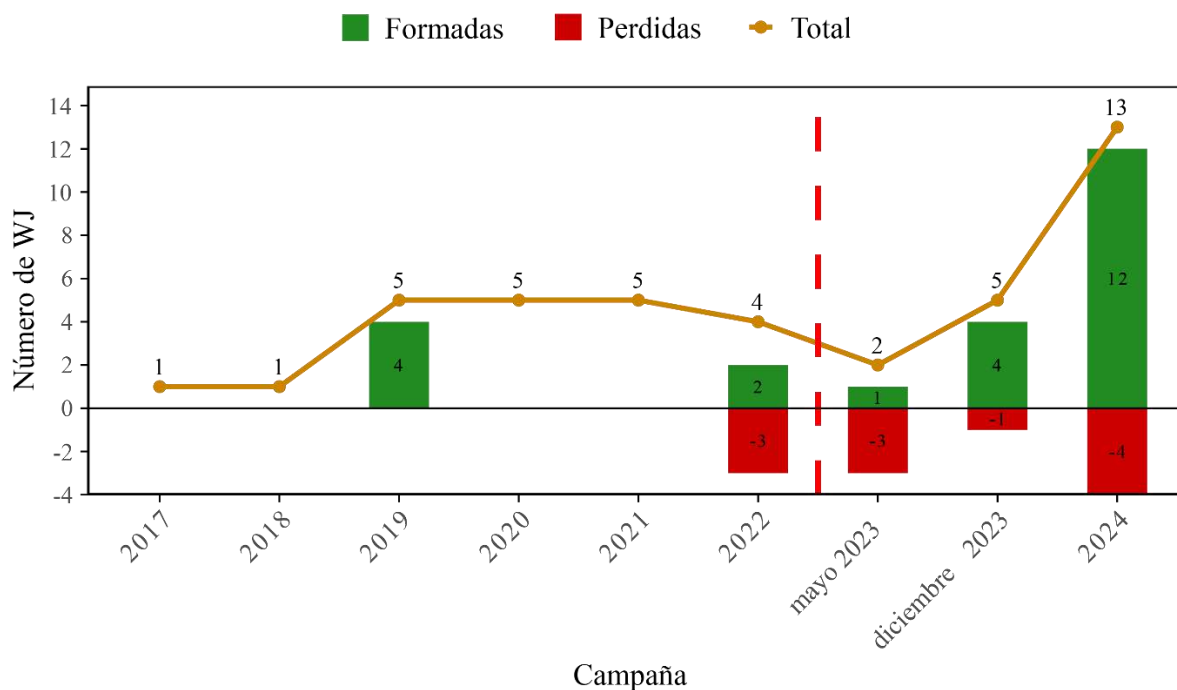


Figura 5. Número total de WJ por año en el período de estudio. Las barras verdes indican WJ formados, las barras rojas representan WJ perdidos y la línea naranja muestra el total por campaña. La línea roja discontinua indica el incendio forestal ocurrido en febrero de 2023.

4.2 Balance de masas (Large Wood budget)

El volumen total de LW almacenado en cada año en el corredor fluvial se presenta en la figura 6. Durante el período pre-incendio, el volumen total de LW mostró variaciones moderadas entre campañas,

con valores entre 12,7 y 16,3 m³. El máximo pre-incendio se registró en 2021 con 16,3 m³, seguido de una disminución a 14,6 m³ en 2022.

Tras el incendio forestal, el volumen total disminuyó a 10,8 m³ en la campaña de mayo de 2023, siendo este el valor más bajo de todo el período de estudio y correspondiendo a una reducción del 26% respecto al valor registrado antes del incendio en 2022. Posteriormente, en diciembre de 2023, el volumen aumentó a 18,2 m³, superando los valores observados en todo el período pre-incendio. Finalmente, en 2024 se registró un máximo de 33,6 m³ de LW almacenado, representando un aumento del 130,1% respecto al valor registrado en 2022, previo al incendio.

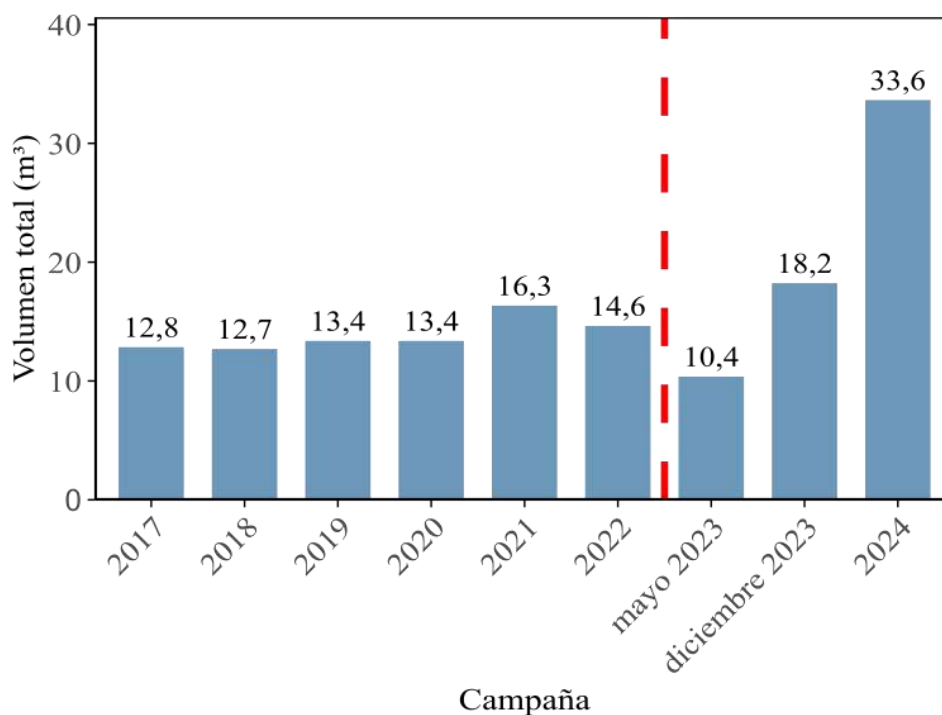


Figura 6. Volumen total de LW presente a lo largo del período de estudio. La línea roja discontinua indica el incendio forestal ocurrido en febrero de 2023.

El análisis de los componentes del balance de LW para el período pre-incendio (2017-2022) presentado en la figura 7, evidenció que la dinámica fue controlada por el transporte fluvial, siendo la principal fuente de entrada la de flotación (Q_{Fi}). Las pérdidas por descomposición (D) fueron mínimas, con la única pérdida registrada en 2021 de 0,672 m³, indicando que el balance fue dominado por el transporte físico por flotación. La tendencia de acumulación registrada hasta 2021, alcanzando un

máximo de 16,704 m³, se interrumpió por un evento de exportación fluvial (Q_{Fo}) masiva en 2022 de 8,496 m³, lo que neutralizó el volumen acumulado.

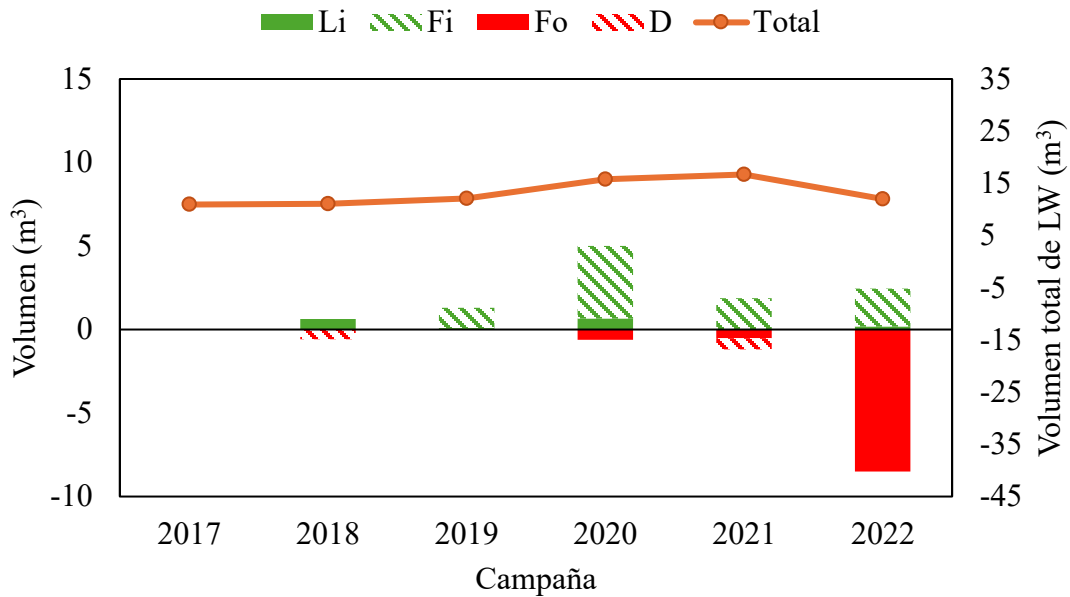


Figura 7. Cambios en el volumen de LW en el período pre-incendio.

La dinámica del balance de masas, incluyendo el período post-incendio, fue analizada de forma preliminar utilizando los componentes principales: Nuevos (volumen de ingreso por flotación y reclutamiento), Exportados (volumen de salida por transporte fluvial) y Almacenados (stock remanente y retenido en el segmento de estudio). Esta aproximación se utilizó debido a que el efecto de la descomposición y rotura (término D de la Ec. 1) se captura en la variación de volumen de cada pieza individual registrada, pero no se presenta como un componente separado en el gráfico para simplificar la visualización de los resultados preliminares.

Con esta adaptación presentada en la figura 8, la dinámica en el período pre-incendio estuvo marcada por una pérdida neta sostenida, en línea con la tendencia de exportación fluvial dominante en el período 2017-2022. En el período de 2021-2022, el volumen exportado (3,897 m³) fue superior al volumen de nuevos (2,175 m³), intensificándose esta tendencia en 2022 - mayo 2023, donde el volumen exportado alcanzó su valor máximo pre-incendio (6,777 m³), superando el volumen de nuevos (2,212 m³). La dinámica del volumen cambió tras el incendio, pasando a ser una fase de ganancia neta de volumen en el período post-incendio, donde en mayo 2023 – diciembre 2023 se registró el primer evento masivo de aporte, con nuevos alcanzando 12,026 m³, mientras que el volumen exportado se mantuvo

bajo (2,866 m³) y finalmente entre las últimas campañas (diciembre 2023 y 2024) el aporte de nuevos alcanzó el valor máximo de toda la serie con 25,667 m³, dominando el balance a pesar del aumento significativo en las pérdidas por exportados (10,183 m³).

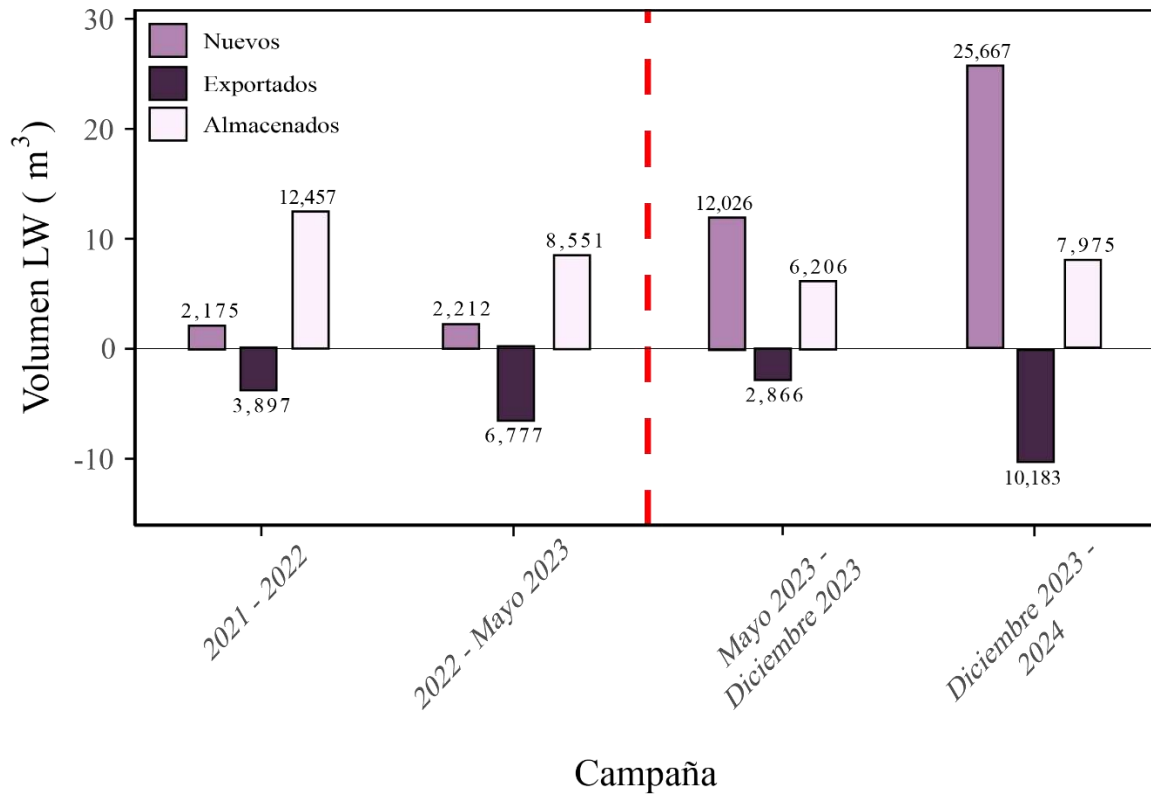


Figura 8. Balance de volumen de LW por componentes principales: nuevos, exportados y almacenados, en el segmento de estudio. La línea roja discontinua indica el incendio forestal ocurrido en febrero de 2023.

La cuantificación de los componentes del balance de volumen se detalla en el cuadro 3 y complementa la figura 8. Esta evidencia que el período post-incendio (P3 y P4) registró los mayores cambios netos por balance de la serie de estudio, impulsados por el aporte de nuevos LW (25,667 m³ en P4).

Se destaca que el error absoluto en el balance de volumen (m³) fue bajo y consistente en la mayoría de los períodos, lo cual afirma la fiabilidad general de las dimensiones individuales registradas. A pesar de esto, el período P3 presentó un aumento elevado (1,294 m³), lo que se atribuye a una imprecisión en la cuantificación del volumen almacenado para la campaña de diciembre 2023, lo cual no afecta la coherencia del registro individual de las dimensiones a lo largo del estudio. Esto es respaldado

por el análisis de número de piezas de LW (n) que se detalla en anexo 2. Dicho balance también demostró una alta consistencia en el cierre del balance (error absoluto \approx a 0), confirmando la calidad del monitoreo de los tags (conteo de piezas). Adicionalmente, el cuadro 3 demuestra que el máximo cambio neto por balance de 43 piezas ocurrió en P3 (mayo 2023 – diciembre 2023), lo que confirma la alta magnitud de movilización de elementos individuales en el período post-incendio.

Cuadro 3. Componentes del balance de volumen (m³) del LW y errores de balance por período de muestreo.

Período de Balance	Stock Inicial (m3)	Stock Final (m3)	Cambio Neto por Stock (m3) (Final - Inicial)	Nuevos (m3)	Exportados (m3)	Cambio Neto por Balance (m3) (Nuevos - Exportados)	Error Absoluto (m3)
P1: 2021-2022	16,337	14,632	-1,705	2,175	-3,897	-1,722	0,017
P2: 2022-mayo 2023	14,632	10,366	-4,266	2,212	-6,777	-4,565	0,299
P3: mayo 2023-diciembre 2023	10,366	18,232	7,866	12,026	2,866	9,160	1,294
P4: diciembre 2023-2024	18,232	33,642	15,410	25,667	10,183	15,484	0,074

Referencias

- Allan, J and Castillo, M. (2007). *Stream Ecology: Structure and function of running waters*. (2nd ed). Springer.
- Benda, L. and Sias, J. (2003). A quantitative framework for evaluating the mass balance of in-stream organic debris. *Forest Ecology and Management* 172(1):1-16. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00576-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00576-X)
- Bendix, J. and Cowell, C. (2010). Fire, floods and woody debris: Interactions between biotic and geomorphic processes. *Geomorphology* 116(3–4):297–304. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.09.043>
- Burton T. (2005). Fish and stream habitat risks from uncharacteristic wildfire: Observations from 17 years of fire-related disturbances on the Boise National Forest, Idaho. *Forest Ecology and Management* 211(1–2):140–149. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.063>
- Chen, X., Wei, X. and Scherer, R. (2005). Influence of wildfire and harvest on biomass, carbon pool, and decomposition of large woody debris in forested streams of southern interior British Columbia. *Forest Ecology and Management* 208(1–3):101–114. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.11.018>
- Gurnell, A. M., Piégay, H., Swanson, F. J. and Gregory, S. V. (2002). Large wood and fluvial processes. *Freshwater Biology* 47(4): 601–619. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00916.x>
- Hortobágyi, B., Petit, S., Marteau, B., Melun, G. and Piégay, H. (2024). A high-resolution inter-annual framework for exploring hydrological drivers of large wood dynamics. *River Research and Applications* 40:958–975. <https://doi.org/10.1002/rra.4242>
- Iroumé, A., Andreoli, A., Comiti, F., Ulloa, H. and Gallo, C. (2010). Large Wood abundance, distribution and mobilization in a third order coastal mountain range river system, southern Chile. *Forest Ecology and Management* 260:480-490. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.05.004>
- Iroumé, A., Ulloa, H., Lenzi, M., Andreoli, A. y Gallo, C. (2011). Movilidad y reclutamiento de material leñoso de gran tamaño en dos cauces de la Cordillera de la Costa de Chile. *Bosque* 32(3):247–254. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002011000300006>
- Iroumé, A., Mao L., Andreoli A., Ulloa H. and Ardiles M. (2015). Large wood mobility processes in low-order Chilean river channels. *Geomorphology* 228:681-693. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.025>
- Iroumé, A., Cartagena, M., Villablanca, L., Sanhueza, D., Mazzorana, B. and Picco L. (2020). Long-term large wood load fluctuations in two low-order streams in Southern Chile. *Earth Surface Processes and Landforms* 45:1959-1973. <https://doi.org/10.1002/esp.4858>

- Iroumé, A., Jones, J. and Bathurst, J. (2021). Forest operations, tree species composition and decline in rainfall explain runoff changes in the Nacimiento experimental catchments, south central Chile. *Hydrological Processes* 35(6):1-21. <https://doi.org/10.1002/hyp.14257>
- Jones, T. and Daniels, L. (2008). Dynamics of large woody debris in small streams disturbed by the 2001 Dogrib fire in the Alberta foothills. *Forest Ecology and Management* 256(10):1751-1759. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.02.048>
- King, L., Hassanm M., Weim X., Burgem L. and Chen, X. (2013). Wood dynamics in upland streams under different disturbance regimes. *Earth Surface Processes and Landforms* 38(11):1197–1209. <https://doi.org/10.1002/esp.3356>
- Mao, L., Andreoli, A., Iroumé, A., Comiti, F. and Lenzi, M. (2013). Dynamics and management alternatives of in-channel large wood in mountain basins of the southern Andes. *Bosque* 34(3):319–330. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002013000300008>
- Marcus, W., Rasmussen, J. and Fonstad, M. (2011). Response of the Fluvial Wood System to Fire and Floods in Northern Yellowstone. *Annals of the Association of American Geographers* 101(1):21-44. <https://doi.org/10.1080/00045608.2010.539154>
- Maser, C., Tarrant, R., Trappe, J and Franklin, J. (1988). From the forest to the sea: a story of fallen trees. General Technical. Rep. PNW-GTR-229. <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-229>
- Neary, D., Koestner, K. and Youberg, A. (2011). Hydrologic impacts of high severity wildfire: Learning from the past and preparing for the future. Flagstaff, AZ. 8 p. <http://dx.doi.org/10.5772/20872>
- Swanson F. (1981). *Fire and geomorphic process*. General Technical Report WO-GTR (26):401-420.
- Picco, L., Scalari, C., Iroumé, A., Mazzorana, B. and Andreoli, A. (2021). Large wood load fluctuations in an Andean basin. *Earth Surface Processes and Landforms* 46(2):371–384. <https://doi.org/10.1002/esp.5030>
- Swanson, F. J., Gregory, S. V., Iroumé, A., Ruiz-Villanueva, V. and Wohl, E. (2021). Reflections on the history of research on large wood in rivers. *Earth Surface Processes and Landforms* 46(1):55–66. <https://doi.org/10.1002/esp.4814>
- Ulloa, H., Iroume, A., Lenzi, M., Andreoli, A., Alvarez, C. y Barrera, V. (2011). Material leñoso de gran tamaño en dos cuencas de la Cordillera de la Costa de Chile con diferente historia de uso del suelo. *Bosque* 32(3):235–245. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002011000300005>
- Vaz, P., Merten, E., Warren, D., Durscher, K., Tapp, M., Robinson, C., Rego, F. and Pinto, P. (2015). Fire meets inland water via burned wood: and then what?. *Freshwater Science* 34(4):1468–1481. <http://dx.doi.org/10.1086/684095>

- Wohl, E. (2013). Floodplains and wood. *Earth-Science Reviews* 123:194-212. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.04.009>
- Wohl, E. (2017). Bridging the gaps: An overview of wood across time and space in diverse rivers. *Geomorphology* 279:3–26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.04.014>
- Wohl, E., Fryirs, K., Grabowski, R., Morrison, R. and Sear D. (2024). Enhancing the natural absorbing capacity of rivers to restore their resilience. *BioScience* 74(11):782-796. <https://doi.org/10.1093/biosci/biae090>
- Wohl, E., Lininger, K., Rathburn, S. and Sutfin, N. (2020). How geomorphic context governs the influence of wildfire on floodplain organic carbon in fire-prone environments of the western United States. *Earth Surface Processes and Landforms* 45:38-55. <https://doi.org/10.1002/esp.4680>

Anexos

Anexo 1. Campos de la tabla de registro de datos que se utilizará para la caracterización de LW.

Elaboración propia.

Tag	L = latifoliada C= Conifera	M=Marginal D=Adentro S=Suspendido E=Escalón	T=Tronco R=Raíces RA=Ramas A=Árbol	S=Solo A=Acumulación	PARA=Paralela PER=Perpendicular OBL=Oblicua	F=Fresco M=Medio V=Viejo MD=Muy descompuesto V=Vivo	DR=Derrumbe OL=Orilla N=Natural FN=Flotado RU=Residuos	Solo		Acumulación		
								Diámetro	Largo	Alto	Largo	Ancho

Anexo 2. Componentes del balance de número de piezas (n) de LW y errores de balance por período de muestreo.

Período de Balance	Piezas Iniciales (n)	Piezas Finales (n)	Cambio Neto por Stock (n) (Final - Inicial)	Nuevos (n)	Exportados (n)	Cambio Neto por Balance (n) (Nuevos - Exportados)	Error Absoluto (n)
P1: 2021-2022	86	71	-15	11	26	-15	0
P2: 2022-mayo 2023	71	44	-27	8	35	-27	0
P3: mayo 2023-diciembre 2023	44	87	43	55	12	43	0
P4: diciembre 2023-2024	87	123	36	99	63	36	0

Anexo 3. Carta Gantt del proyecto de Magíster.

Item	Mes	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
1	Etapa 1: Refinamiento Base de Datos Histórica (2017-2025)										
1.1	Completación de base de datos con campaña 2025	■	■	■							
1.2	Procesamiento final base de datos (QGIS/Excel)		■	■	■						
2	Etapa 2: Análisis de Datos y Resultados										
2.1	Análisis estadístico			■	■	■					
2.2	Modelos de regresión				■	■	■	■			
2.3	Completación y elaboración de figuras y tablas finales					■	■	■	■	■	
3	Etapa 3: Redacción del Escrito										
3.1	Ajustes finales Introducción							■			
3.2	Redacción Metodología y Área de Estudio (Final)							■			
3.3	Redacción Resultados (Estadísticos y Descriptivos)						■	■	■	■	
3.4	Redacción Discusión							■	■	■	■
3.5	Redacción Conclusiones y Resumen								■	■	■
4	Etapa 4: Revisiones, entrega y defensa										
4.1	Revisiones de la comisión			■		■			■		■
4.2	Entrega del escrito final									■	
4.3	Defensa de tesis										■