



EcoHyd Soluciones I+D+i

Plataforma de Investigación en
Ecohidrología y Ecohidráulica

EVALUACIÓN IDONEIDAD DE REALIZACIÓN DE RAFTING EN RÍO MAIPO

Elaborado para

ALTO MAIPO

marzo 2020

EVALUACIÓN IDONEIDAD DE REALIZACIÓN DE RAFTING EN RÍO MAIPO

Elaborado para
ALTO MAIPO

1	1	Aprobación cliente	FAM/DMG/MPP/VCH	MPP	MPP		
0	0	Aprobación cliente	FAM/DMG/MPP/VCH	MPP	MPP		
1	C	Revisión cliente	FAM/DMG/MPP/VCH	MPP	MPP	NS/JCM	
0	B	Revisión cliente	DZC/FAM/VCH/MPP	MPP	MPP		
Ver	Rev	Emitido para	por	Revisado	Aprobado	Revisado	Aprobado
10/03/2020			EcoHyd			Cliente	
Consultor			Documento	P-2019-079		Ver	Rev
 EcoHyd <small>Soluciones (e)hídricas</small> <small>Plataforma de Investigación en Ecohidrología y Ecohidráulica</small>			P-2019-079-Evaluación idoneidad de realización rafting en río Maipo			1	1



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	1
1.2	PUNTOS DE RECOLECCIÓN DE AGUA	1
1.3	DESCARGAS DE AGUA	4
1.4	ACTIVIDADES RECREACIONALES.....	5
2	OBJETIVO	5
3	METODOLOGÍA	6
3.1	ÁREA DE ESTUDIO	6
3.2	ANTECEDENTES PREVIOS.....	6
3.2.1	Información hidrológica	6
3.2.2	Estudio de monitoreo de usuarios recreativos de FDC.....	7
3.2.3	Reuniones con Empresas y Guías de Rafting.....	10
3.3	REUNIONES CON USUARIOS	12
3.4	ESQUEMA METODOLÓGICO.....	13
3.5	CURVAS DE PREFERENCIAS	13
3.5.1	Caracterización del rafting.....	14
3.5.2	Ajuste de función distribución en la determinación curvas de preferencia	15
3.6	CAUDAL MÍNIMO Y MÁXIMO ACEPTABLE PARA REALIZACIÓN DE RAFTING EN EL RÍO MAIPO	16
3.7	IDONEIDAD DE REALIZACIÓN DE RAFTING EN AMBOS ESCENARIOS.....	18
3.7.1	Generación de escenarios	18
3.7.2	Determinación de idoneidad en cada escenario.....	20
3.8	COMPARACIÓN DE LA IDONEIDAD DE RAFTING ENTRE AMBOS ESCENARIOS.....	20
4	RESULTADOS	21
4.1	CURVAS DE PREFERENCIAS	21
4.1.1	Caracterización de datos disponibles.....	21

4.1.2	Ajuste de distribuciones de probabilidad.....	24
4.2	CAUDAL MÍNIMO Y MÁXIMO ACEPTABLE PARA REALIZACIÓN DE RAFTING EN EL RÍO MAIPO	28
4.3	IDONEIDAD DE REALIZACIÓN DE RAFTING EN AMBOS ESCENARIOS.....	32
4.3.1	Escenarios generados	32
4.4	COMPARACIÓN IDONEIDAD DE REALIZACIÓN DE RAFTING	33
5	DISCUSIÓN	39
6	CONCLUSIONES	43
7	BIBLIOGRAFÍA.....	44

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del proyecto

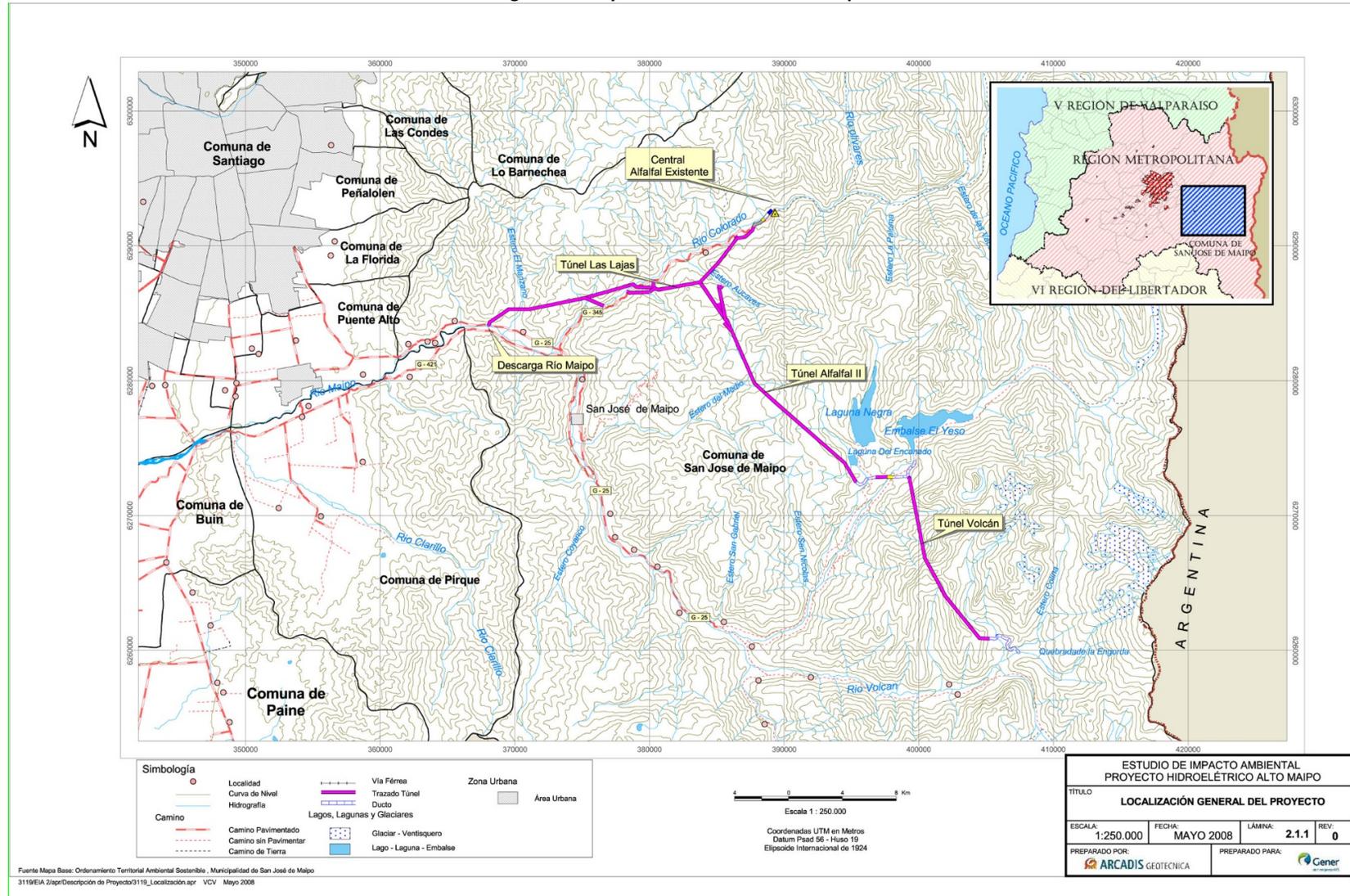
El Proyecto hidroeléctrico Alto Maipo (PHAM), consiste en la construcción y operación de dos centrales hidroeléctricas de pasada con capacidad combinada de 531 MW (Alfalfal II cuenta con una capacidad de 264 MW y Las Lajas con 276 MW), el proyecto se emplaza a 50 km al este de Santiago, Chile (Figura 1-1), el proyecto contempla operar a partir de la captura de los flujos de los ríos el Volcán, el Yeso, Colorado y el estero Aucayes, la cual se llevara a cabo a través de las centrales hidroeléctricas Alfalfal I y Maitenes, al ser todos tributarios del río Maipo permitirá la operación de las centrales hidroeléctricas, Alfalfal II y Las Lajas.

El desarrollo del PHAM contempla la construcción de más de 70 kilómetros de túneles, cuatro sifones, dos cámaras de carga, 17 km de líneas de transmisión (110/220 kv), así como mejoras en las subestaciones eléctricas existentes. Cuando el proyecto se encuentre en operación producirá un promedio de 2,350 Gwh por año, energía que será entregada al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

1.2 Puntos de Recolección de Agua

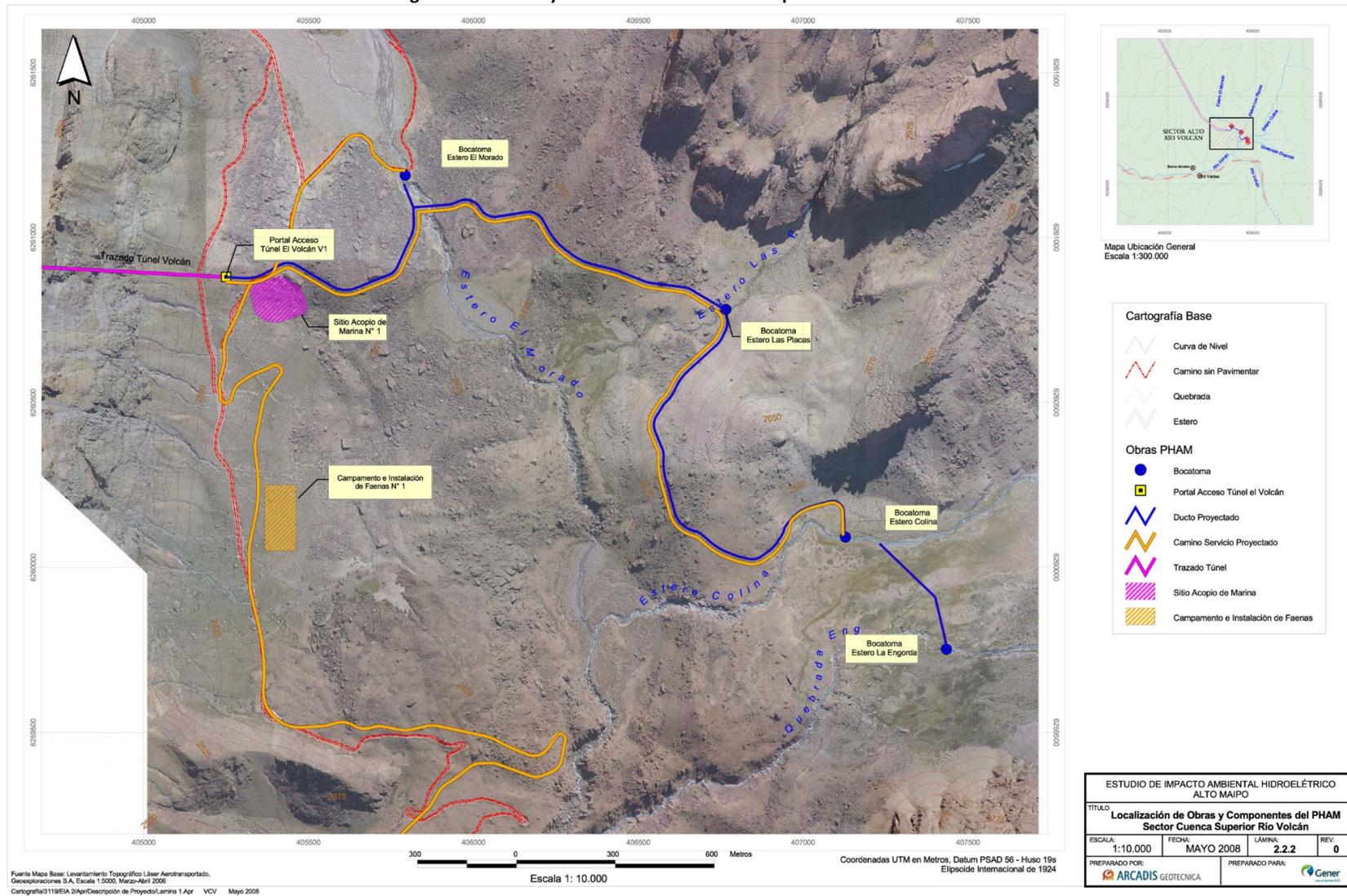
El PHAM contempla ocho bocatomas, de las cuales cinco puntos entregan agua directamente la central Alfalfal II y tres a la central Las Lajas. De los primeros, cuatro son bocatomas ubicadas en la cuenca alta del río volcán. Las bocatomas capturarán agua de los esteros La Engorda, Colina, Las Placas y El Morado, todos los cuales son afluentes del río volcán. Los acueductos conectarán las bocatomas secuencialmente y luego alimentarán el túnel del volcán (Figura 1-2). El último punto de recolección para la central eléctrica de Alfalfal II se ubica en el valle del río el Yeso.

Figura 1-1 Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo



Fuente: Figura 2.1.1 del EIA PHAM (2008).

Figura 1-2 Accesos y acueductos en la cuenca superior del río VOLCÁN.



Fuente: Figura 2.2.2 del EIA PHAM (2008).



Todos los puntos de recolección de central hidroeléctrica Las Lajas se encuentran ubicadas en el valle del río Colorado y utilizarán las bocatomas existentes. La primera de ellas, pertenece a la planta Maitenes, construida en 1923. El segundo punto de recolección consiste en una extensión del canal de evacuación del canal de descarga de Alfalfal, que actualmente entrega parte del agua del Alfalfal al canal de aducción de la Planta Maitenes. El tercer punto de recolección es el Canal 2 de la planta de Maitenes, que captura el agua del estero Aucayes a través de una bocatoma y abastece a la planta de los Maitenes. El agua se capturará conectando el canal al túnel de aducción de Las Lajas a través de un pozo vertical de 150 metros.

El método de captura, el caudal diseñado en m^3/s y el caudal ecológico en m^3/s , de los ocho puntos de recolección del Proyecto, se presentan en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1 Características de las bocatomas del proyecto.

Bocatoma	Caudal de diseño (m^3/s)	Caudal ecológico (m^3/s)
La Engorda	2,1	0,20
Colina	6,0	0,37
Las Placas	1,0	0,14
El Morado	3,7	0,24
Yeso	15,0	0,82
Maitenes	10,0	2,51
Alfalfal	30,0	0.00
Aucayes	2,0	0.00

Fuente: Información entregada por el Cliente.

1.3 Descargas de Agua

Durante las operaciones normales, la central Alfalfal II descargará agua al túnel de Las Lajas. En situaciones de emergencia o durante una interrupción en las operaciones en la central Las Lajas, el agua se puede descargar en el río Colorado a través de la cámara de carga Las Lajas a través de una tubería que incluye la disipación de energía y elementos de protección apropiados para el lecho del río y las orillas.

La central las Lajas descargará directamente en el río Maipo a través de una tubería de descarga proyectada a través de un canal excavado en roca. La descarga se encuentra aguas abajo de la confluencia del río Maipo y el estero El Manzano, entre los poblados de El Manzano y El Canelo.

1.4 Actividades recreacionales

En el área de influencia del proyecto se realizan actividades recreacionales acuáticas, las cuales fueron incorporadas en la evaluación de impacto Ambiental. Entre las actividades más frecuentadas está la realización de rafting en el río Maipo entre San Gabriel y el puente Toyo.

Si bien esta actividad fue incorporada y su impacto evaluado dentro del estudio de impacto ambiental como parte del Caudal Ecológico. Alto Maipo entiende la importancia que presenta esta actividad para el sector de San José y alrededores, por lo que solicita realizar un estudio más profundo que evalúe el impacto, no solo en la factibilidad técnica de realización de la actividad, sino que evalúe si la operación de PHAM genera alteraciones en la disponibilidad de caudales y preferencias para la realización de dicha actividad.

2 OBJETIVO

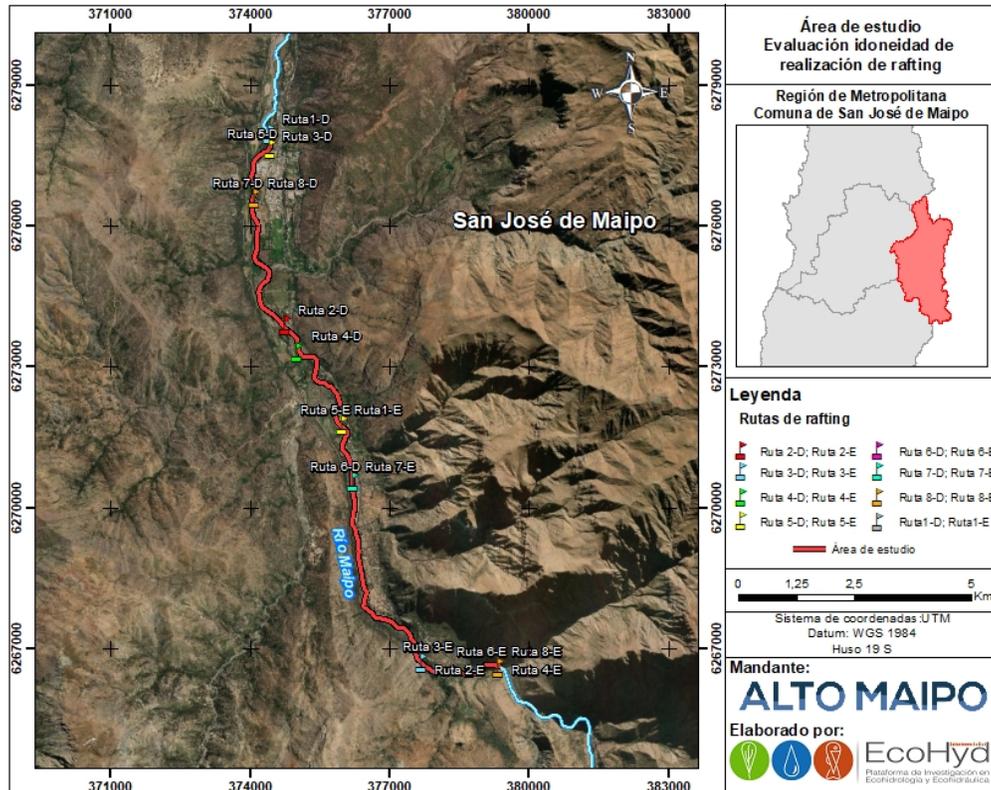
Analizar si la operación de PHAM afecta la realización de rafting considerando potenciales alteraciones en las condiciones hidrológicas para la realización de dicha actividad.

3 METODOLOGÍA

3.1 Área de estudio

El área de estudio se centra en el tramo del río Maipo en el cual se ha identificado la realización de la actividad recreacional Rafting. La delimitación del tramo se realizó mediante la ubicación de las rutas realizadas por operadores turísticos que prestan servicios en la comuna de San José de Maipo (Figura 3-1).

Figura 3-1 Área de estudio



Fuente: elaboración propia en base a información entregada por el cliente

3.2 Antecedentes previos

3.2.1 Información hidrológica

La Dirección General de Aguas (DGA) ha registrado el flujo diario del río Maipo y algunos de sus afluentes en la cuenca superior del río Maipo desde abril de 1950. Esto incluye mediciones en tres estaciones a lo largo del río Maipo. El más importante de estos para los propósitos de este informe corresponde al de San Alfonso, debido a la cercanía del inicio de cinco de las ocho rutas comerciales principales de rafting en el área. De acuerdo a los datos recopilados en San Alfonso desde abril de 1950 hasta marzo de 2005, el flujo anual

promedio del río Maipo en esta ubicación es de 72.01 m³/s. El flujo promedio anual mínimo (marzo a abril) es de 29.59 m³/s (en 1968/69), y el flujo promedio anual máximo es de 156.61 (en 1982/83) m³/s.

Por otra parte, la Estación fluviométrica El Manzano se encuentra aguas debajo de San José de Maipo, lugar en el cual termina el uso del agua recreativa, incluidas todas las rutas comerciales. El flujo en El Manzano es significativamente mayor que en San Alfonso, porque el río Colorado y al menos otros dos afluentes, que se ubican al oeste del río Maipo y, por lo tanto, no se verán afectados por el proyecto, desembocan en el río Maipo entre estas dos ubicaciones. Según los datos recopilados en El Manzano desde abril de 1950 hasta marzo de 2005, el flujo anual promedio del río Maipo corresponde a 111.41 m³/s. El flujo promedio anual mínimo es de 50.00 m³/s (en 1968/69), y el flujo promedio anual máximo es de 235.87 (en 1982/83) m³/s.

3.2.2 Estudio de monitoreo de usuarios recreativos de FDC

3.2.2.1 Objetivos y alcances del estudio

En 2013, el Proyecto Alto Maipo contrató a FDC Ciencia Social Aplicada (FDC) para llevar a cabo el monitoreo de usos recreativos en el río Maipo. El monitoreo se realizó entre los años 2014 y 2017.

El objetivo principal del monitoreo del uso recreativo fue el describir, a partir de la observación directa, las actividades recreativas de navegación en el río Maipo, incluidas las rutas utilizadas, el número de descensos, la frecuencia de los descensos, las compañías proveedoras de servicios, el número de guías, el número de turistas transportados y tipos de embarcaciones utilizadas.

El estudio de la FDC tuvo una duración de cuatro años, desde enero de 2014 a diciembre de 2017. El muestreo realizado fue aleatorio estratificado, el que se llevó a cabo durante seis días al mes, el que consistía en dos sábados, dos domingos y dos días hábiles, considerando cuatro puntos de muestreo a lo largo del río Maipo.

El monitoreo considero los siguientes parámetros

1. Empresas asociadas presa asociada (en la medida de lo posible).
2. Frecuencia medida registrando la hora en que se observó el descenso.
3. Tipo de embarcación para el descenso turístico (kayak, balsa, catamarán o bodyboard).
4. Número de turistas en descenso.
5. Número de guías que supervisan el descenso.
6. Número y tipo de botes de apoyo (kayak y catamarán).
7. Ruta utilizada.

3.2.2.2 Resultados

Según el informe de FDC, durante el 2017 se observa el descenso en zodiac, asociado con las siguientes ocho compañías de rafting durante los meses de octubre, noviembre y diciembre:

1. Rafting Rutavertical (43 descensos, 22.6% del total).
2. Cascada de las Ánimas (39 descensos, 20.5%).
3. Isoterma Tour (39 descensos, 20.5%).
4. Natexplora (36 descensos, 18.9%).
5. Alma de los Andes (24 descensos, 12.6%).
6. Kayak Universal (4 descensos, 2.1%).
7. Hacienda Los Castaños (3 descensos, 1.6%).
8. Fuga (2 descensos, 1.1%).

Cabe señalar que FDC, obtuvo el nombre de los zodiac que participan en los descensos, obteniendo el nombre de la compañía en el costado del bote, el cual no siempre refleja el nombre o pertenencia de esta, debido a los cambios de nombre o de funciones.

El informe también menciona varias compañías de rafting adicionales observadas en el río por FDC desde 2012, incluyendo

- Rockside (se observó a partir de marzo de 2013).
- Aventuras Cajón de Maipo (se fusionó con Cascada de las Ánimas y se independizó nuevamente en diciembre de 2013).
- Aventura Extrema (se observó a partir de octubre de 2015).
- Sur Expediciones (se observó a partir de diciembre de 2015).
- Chile Rafting (fusionado con Ruta Rafting para formar Rutavertical en diciembre de 2015).
- Río Fuy (se observó a partir de abril de 2016).
- Lircay (solo observado durante el primer trimestre de 2017).
- Pucón Expediciones (solo observado en abril de 2014).
- La Casa del Kayak (cinco kayaks observados en noviembre de 2016).

El informe final de FDC, señala que hay ocho rutas comerciales de rafting en el río Maipo. La Tabla 3-1 enumera el punto inicial y final, la distancia en kilómetros y la duración aproximada durante los meses de invierno y verano de las ocho rutas.

Tabla 3-1 Rutas comerciales de rafting en el río maipo.

N°	Ruta	Distancia (km)	Duración (minutos), invierno	Duración (minutos), verano
1	Melocotón Por Toyo – San José de Maipo	11	75	45
2	San Alfonso – Melocotón	9	70	40
3	San Alfonso – San José de Maipo	15	90	70
4	San Alfonso – Toyo	8.5	65	35
5	Melocotón – Isoterma Tour (Sjdm)	10	70	40
6	San Alfonso – Melocotón Bajo	6.6	70	40

EVALUACIÓN IDONEIDAD REALIZACIÓN DE RAFTING EN RÍO MAIPO

7	Melocotón Bajo – San José de Maipo	6.6	60	45
8	San Alfonso – San José de Maipo	11	70	60

Fuente: FDC (2018)

La Tabla 3-2, presenta la cantidad total de días por persona al mes, estimada en base a las observaciones de FDC de las embarcaciones zodiac que descienden del río Maipo entre los años 2014 y 2017, lo que se observa es un incremento en el número de descensos entre los años 2014 y 2017.

Tabla 3-2: estimación mensual en el número de personas, observaciones del fdc.

Mes	Personas Diarias					Porcentaje Total
	2014	2015	2016	2017	Promedio	
Ene	2283	2373	5278	5922	3964	16%
Feb	1248	1262	3929	3484	2481	10%
Mar	2160	2172	2734	2362	2357	10%
Abr	1833	1330	915	2422	1625	7%
May	518	2182	1119	1448	1317	5%
Jun	0	606	922	518	512	2%
Jul	82	690	483	457	428	2%
Ago	134	470	686	640	483	2%
Sep	1489	968	1277	1813	1387	6%
Oct	1489	1100	2724	3429	2186	9%
Nov	2629	2273	4495	4741	3535	14%
Dic	1776	6759	4336	4734	4401	18%
Total	15,638	22,183	28,896	31,970	24,674	100%

Fuente: ERM (2019)

De acuerdo a informes de la FDC, (se resume en la Tabla 3-3). El mayor número de turistas se observó en la temporada "alta", que se extiende de noviembre a marzo. Esta temporada representa el 68% del total. Por el contrario, la temporada "baja", que se extiende desde los meses de junio a agosto, representa solo el 6% del total. La temporada "media", se extiende entre los meses de abril a mayo y de septiembre a octubre, representando el 26% del total. Los datos indican que el caudal del río influye en los niveles de uso (el total de usuarios recreativos es más alto durante un año promedio que durante un año seco) y que los niveles de uso comercial (balsas / zodiac) son significativamente más altos que el uso privado (kayaks). Además, el uso recreativo es mucho mayor los fines de semana que entre semana.

Tabla 3-3: Total anual de personas asistentes registradas del rafting en el río Maipo entre los años 2014 y 2107

Año	Personas Día	Comercial	Privado	Temporada	Temporada	Temporada	Fin de semana	Día Hábil
				Alta	Media	Baja		

EVALUACIÓN IDONEIDAD REALIZACIÓN DE RAFTING EN RÍO MAIPO

2014*	15,638	94%	6%	65%	34%	1%	55%	45%
2015	22,183	97%	3%	67%	25%	8%	55%	45%
2016	28,896	98%	2%	72%	21%	7%	66%	34%
2017	31,970	98%	2%	66%	29%	5%	72%	28%
	98,687	97%	3%	68%	26%	6%	64%	36%

Nota: * Se utilizaron datos de octubre de 2014 para reemplazar los datos faltantes de septiembre de 2014.

Fuente: ERM (2019)

3.2.3 Reuniones con Empresas y Guías de Rafting

La consultora internacional Environmental Resources Management (ERM) entrevistó a los propietarios, guías y empleados de las siete compañías de rafting que trabajaban en San José de Maipo al año 2019 y que de manera mensual proporcionan a DIDECO información sobre el número de clientes que realizan la actividad. Las empresas entrevistadas fueron:

- Cascada de las Ánimas.
- Andes Soul.
- Isoterma.
- Natexplora.
- Hacienda Los Castaños.
- StreetDog Travel.
- Rutavertical.

Las preguntas realizadas durante las entrevistas a los proveedores de servicios de rafting, se enfocaron a consultas de carácter técnico, destinado a obtener información sobre los rangos considerados como "óptimo", "aceptable" e "inseguro" para el rafting de acuerdo a las temporadas en que este deporte se realiza. Las preguntas formuladas durante las entrevistas se presentan a continuación.

- ¿Cuál cree que es el rango de flujo preferido (óptimo) para que sus clientes obtengan una experiencia de navegación de calidad en rápidos (aguas bravas)?
- ¿Existe un caudal, que se hace inseguro e impiden la navegación?
- Existe una propuesta de la Municipalidad de San José de Maipo para establecer un máximo de 150 cms para navegación en el segmento correspondiente a San Alfonso - Melocotón. ¿Estás familiarizado con este requisito?
- ¿Qué cambio en el caudal es perceptible en el río (de un día para otro) y/o tiene un efecto en la experiencia recreativa? Si esto varía según el rango del caudal, considere esta pregunta en el contexto de un rango de flujo entre 70 y 100 cms.
- Además de minimizar las desviaciones de caudal, ¿hay otras cosas que el Proyecto Alto Maipo podría hacer que beneficiaran a las empresas de rafting a lo largo del río Maipo?
- ¿Tiene registros históricos de la cantidad de clientes que tiene cada año?
- ¿De dónde obtiene información relacionada con el proyecto? ¿Está familiarizado con el permiso ambiental del Proyecto (Resolución de Calificación Ambiental, o RCA)?
- ¿Sabe cómo presentar una queja al Proyecto y, de ser así, la considera efectiva?

Los proveedores concuerdan que el rafting en el río Maipo ha incrementado los últimos siete años, aunque los datos detallados sobre el número de usuarios solo están disponibles en DIDECO durante los últimos tres años. Proveedores del servicio de rafting y funcionarios gubernamentales entrevistados concuerdan que la industria del rafting en San José de Maipo creció rápidamente y de manera informal, lo que algunos atribuyen a un mejor acceso al área. Como resultado del rápido aumento en el número de usuarios y proveedores de servicios de rafting, la Municipalidad de San José de Maipo aprobó recientemente la Ordenanza de Turismo y Patentes Comerciales (Decreto No. 602) y desarrolló regulaciones de implementación (Reglamento Implementación de Ordenanza de Turismo, San José de Maipo, 17-enero-17). El artículo 10 del reglamento establece el máximo caudal para la navegación en el segmento San Alfonso - Melocotón como 150 cms. Según los funcionarios municipales entrevistados como parte de este estudio, el establecimiento de la ordenanza y las regulaciones fueron impulsadas por proveedores de servicios de rafting y el deseo de que sus servicios estén mejor regulados. Los proveedores entrevistados se encontraban de acuerdo con las regulaciones, que según ellos fueron introducidas por razones de seguridad. Tanto los proveedores como los funcionarios municipales declararon que el municipio actualmente no puede hacer cumplir los requisitos de las regulaciones debido a la falta de recursos y mano de obra para monitorear el río. Uno de los proveedores admitió no cumplir con los requisitos reglamentarios cuando realizaba rafting con usuarios experimentados. Seis de los siete proveedores entrevistados expresaron preocupación por su sustento una vez que el Proyecto comience sus operaciones. Su principal preocupación es una disminución del caudal lo que provocaría que el río fuese menos atractivo para los usuarios de rafting o, durante los años secos, se tornaría casi imposible de transportar en balsa. Dos de los proveedores declararon que les prometen a sus clientes una experiencia de Nivel IV, y que la complejidad del río es una de las razones por que los usuarios de aguas recreativas visitan el área. Esto fue corroborado durante las entrevistas de ERM con usuarios de rafting, algunos de los cuales se autoidentificaron como "adictos a la adrenalina" que llegaron a San José de Maipo en busca de una emocionante experiencia de rafting.

Otra preocupación general entre los proveedores de servicios de rafting es que, en el momento en que se aprobó el Proyecto, el rafting no era una actividad tan extendida en el área, lo que significa que sus necesidades no se consideraron al establecer los requisitos ambientales y sociales del Proyecto. Un pequeño número de proveedores expresó su preocupación de que las actividades de construcción asociadas con el Proyecto, junto con un aumento en el tráfico en la región, pudieran afectar el turismo en el área. Sin embargo, ninguno de ellos informó haber experimentado una disminución en la clientela, y los datos de DIDECO durante los últimos tres años indican que el número de usuarios de agua recreativa ha aumentado constantemente (ver también la Tabla 3-3).

Cinco de los siete proveedores entrevistados expresaron su deseo de una mayor coordinación entre ellos y el Proyecto para acordar una forma en que puedan continuar sus actividades una vez que el Proyecto comience a operar.

En lo que respecta a la pregunta qué podría hacer Alto Maipo para beneficiar a los proveedores de servicios de rafting a lo largo del río Maipo, todas las empresas respondieron "garantizando un flujo mínimo". Varios de los proveedores declararon que

entienden que el Proyecto es inevitable y, como tal, "no ven otra alternativa" que sentarse con los encargados de Alto Maipo para discutir posibles impactos en el caudal del río y un camino a seguir que garantice que puedan continuar operando todo el año.

Las respuestas a las preguntas técnicas sugieren que el caudal óptimo para la mayoría de los proveedores se encuentra entre los rangos de 100 y 150 cms, un caudal aceptable es entre 60 y 100 cms (con 60 cms como mínimo absoluto) y un caudal inseguro por encima de 250 cms, incluyendo balseros experimentados (aunque un proveedor señaló que él mismo saldría hasta 300 cms). Es necesario tener en consideración que no todas las empresas respondieron la encuesta completa como tal, esta información es solo representativa de la opinión de aquellos proveedores que respondieron a estas preguntas particulares.

La mayoría de los proveedores informaron que un cambio en el caudal de 20 a 30 cms era perceptible de un día para otro, y todos estuvieron de acuerdo en que la mayoría de los navegantes novatos no notarían la diferencia entre 20 y 30 cms incluso si navegaban en dos días consecutivos. Al igual que con otras preguntas técnicas, no todos los proveedores respondieron a esta pregunta y algunas de las personas entrevistadas informaron que no sabían esta información.

3.3 Reuniones con Usuarios

ERM entrevistó a usuarios de aguas recreativas el día 30 de enero de 2019. Los datos del caudal del río de la DGA indican que el flujo ese día fue de 117 m³/s en la estación El Manzano. Enero es temporada alta en San José de Maipo, todas las empresas reportan el mayor número de visitantes durante esa temporada. Las partes interesadas entrevistadas incluyeron un grupo de 35 usuarios de rafting como parte de un retiro corporativo y siete usuarios individuales. De estos usuarios, alrededor del 60 por ciento eran chilenos y el 40 por ciento extranjeros

Aproximadamente el 80 por ciento de los usuarios entrevistados eran navegantes novatos. Estos usuarios informaron haber tenido un "buen" momento y una experiencia emocionante con el río proporcionando un buen nivel de dificultad. Los navegantes experimentados también dijeron que la pasaron "bien" y que el río cumplió con sus expectativas tanto de complejidad como de flujo. Solo tres de los navegantes experimentados entrevistados dijeron que su experiencia fue "promedio". En todos estos casos, habían esperado que el río fuera más desafiante. Cuatro de los navegantes novatos dijeron que estaban decepcionados por el color del agua, aunque todos estuvieron de acuerdo en que se debía a los sedimentos en el río y no a la contaminación.

Alrededor del 70 por ciento de los usuarios entrevistados estaban familiarizados con el Proyecto, principalmente debido a su presencia en los medios nacionales. Más del 80 por ciento de los usuarios que estaban familiarizados con el Proyecto no hicieron la conexión entre el Proyecto y el caudal del río, y la mayoría dijo que sabían que el Proyecto estaba en la región pero que no conocían los detalles. Ninguno de los usuarios indicó que consideraban que la operación del PHAM tenía un impacto directo en el caudal del río, y un

usuario dijo: "Supongo que cualquier proyecto de esa naturaleza naturalmente tendría un impacto en el río". Ninguno de los usuarios informó haber sido disuadido por la presencia de grandes actividades de construcción en la región, aunque aproximadamente el 5 por ciento dijo estar sorprendido por la cantidad de tráfico en San José de Maipo durante los fines de semana. Todos los usuarios individuales entrevistados dijeron que visitarían el río nuevamente para hacer rafting.

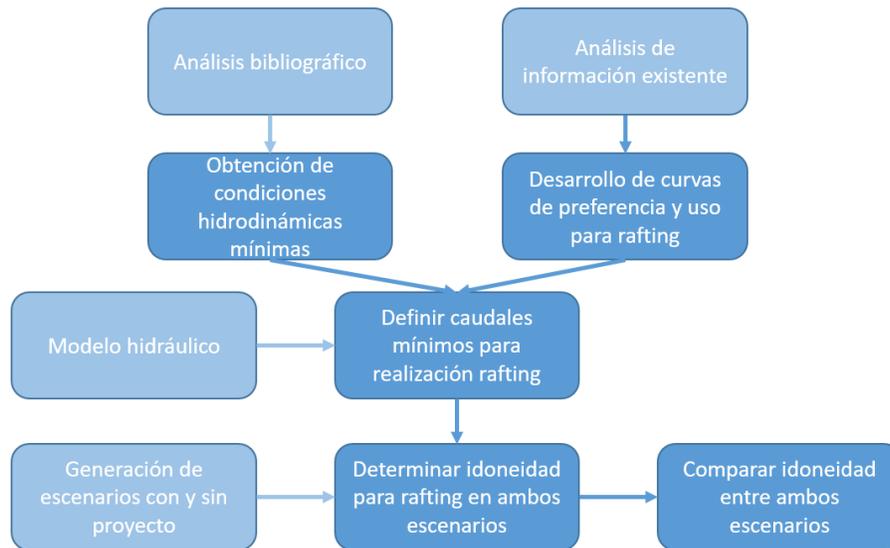
3.4 Esquema metodológico

La metodología consistió en cuatro etapas:

1. Desarrollar la curva de preferencia y uso del rafting en el área de estudio.
2. Obtener un caudal mínimo de realización del rafting incorporando los umbrales hidrodinámicos en una modelación hidráulica.
3. Determinar la idoneidad de realización del rating en condiciones con y sin PHAM.
4. Comparar la idoneidad resultante bajo la condición con PHAM y bajo la condición sin PHAM.

El esquema metodológico se muestra en la Figura 3-2

Figura 3-2 Esquema metodológico



Fuente: elaboración propia

A continuación, se presenta el detalle metodológico de cada una de estas 4 etapas.

3.5 Curvas de preferencias

Para la caracterización del rafting en el área de estudio se sistematizaron los registros de rafting realizados por la empresa FDC en el sector entre los años 2014 y 2017. Dicha sistematización consistió en identificar mediciones outliers principalmente. Los registros de

observación fueron obtenidos cada quincena, considerando días sábado, domingo y un día hábil al azar. Para realizar el muestreo, en el sitio de estudio se buscaron puntos de alta visibilidad en donde se tenía perspectiva de distintas rutas de rafting. Desde estos puntos se observaba la actividad, cuantificando número de embarcaciones y número de usuarios.

Posteriormente, fue necesario asociar los caudales circulantes en el río Maipo durante las observaciones realizadas por FDC, buscando siempre que los caudales determinados fuesen lo más cercano posible al sector en donde fueron realizadas las observaciones. Lamentablemente la estación Maipo en San Alfonso no estuvo operativa durante el año 2017, por lo que fue necesario considerar las siguientes estaciones fluviométricas más cercanas al lugar de observación.

Para ello se obtuvieron los caudales medios diarios desde el año 1987 hasta el año 2017 en las estaciones DGA “Río Maipo en el Manzano” y “Río Colorado antes junta Río Maipo”. Luego, para obtener el caudal del sector de El Toyo, se restó el caudal de la estación en el río Colorado al caudal de la estación en el río Maipo en El Manzano, obteniendo el caudal del río Maipo previo a su principal afluente posterior al sector de El Toyo. El análisis exploratorio consistió en dos partes: 1) La caracterización del rafting, comparando su frecuencia con variables predictoras como el caudal, el tipo de día de la semana (día hábil o feriado/fin de semana) y la estación del año (otoño, invierno, primavera o verano). Esta caracterización permitió determinar cuáles factores temporales explican la frecuencia de rafting en la zona, permitiendo determinar bajo qué condiciones se deben ajustar las curvas de preferencia y las de uso; 2) Se realizó el ajuste de curvas de preferencia y de uso del rafting en función del caudal. Todos los análisis se realizaron utilizando el software R (R Core Team, 2017).

3.5.1 Caracterización del rafting

En primer lugar, se realizaron análisis exploratorios para caracterizar el rafting en el sector muestreado utilizando estadística descriptiva y distintas gráficas. Luego, para establecer la relación entre el rafting y el día en el que se realizó la actividad, se realizaron dos análisis de ANOVA¹ de dos vías utilizando dos factores: la estación del año y el tipo de día (hábil o festivo). En el primer análisis, se utilizó el número de participantes de rafting como variable respuesta, y en el segundo análisis, se utilizó el caudal registrado en el río durante los días de observación de rafting como variable respuesta.

Contrastar ambos resultados permitió caracterizar la relación entre el caudal, el rafting y el tipo de día en que se realiza la actividad. Ambos análisis de ANOVA se realizaron utilizando la función ANOVA (Chambers, Freeny & Heiberger, 1992).

Para ajustar ambas variables a distribuciones normales, se utilizó la función bestNormalize (Peterson, 2018). En el caso del número de participantes de rafting por día, los datos no se ajustaron correctamente a una distribución normal, y en el caso del caudal, al evaluar los

¹ Analysis of Variance (ANOVA) es una técnica estadística que permite determinar si dos poblaciones presentan diferencias significativas en una o más características

residuales del ajuste utilizando el test RM de normalidad para residuales (Rana, Midi & Imon, 2009), los resultados tampoco fueron satisfactorios (no unimodales), por lo que en ambos casos se corrigió el análisis de ANOVA por medio del uso de permutaciones (Legendre & Legendre, 1998). Posterior al análisis ANOVA se realizó un test de Tukey para comparar entre categorías (Yandell, 2017).

Este análisis permitió establecer con claridad patrones temporales de participación de rafting y relacionarlo con patrones temporales de caudal, información necesaria para la calibración de curvas de preferencia.

3.5.2 Ajuste de función distribución en la determinación curvas de preferencia

Para caracterizar el uso de rafting en el sector, se ajustaron dos tipos de curvas de distribución, curva de tipo II (según Bovee et al, 1998), desde ahora curva de uso, que caracteriza la asistencia total de participantes en función de intervalos de caudal, y la curva de tipo III (según Bovee et al, 1998), desde ahora curva de preferencia, que caracteriza la asistencia al rafting en función de intervalos de caudal ponderados por su frecuencia de ocurrencia (Bovee et al., 1998). La curva de uso nos permitirá determinar la frecuencia de usuarios de rafting para distintos rangos de caudal, lo que implica determinar bajo qué condiciones del río es más frecuente que se realice esta actividad. La curva de preferencia pondera las condiciones del río en función de su ocurrencia, lo que permite establecer el número de participantes del rafting para ciertos niveles de caudal sin importar si estos niveles son frecuentes o no. No permite determinar, por ejemplo, si un nivel anormal de caudal tiene particularmente muchos o pocos usuarios a pesar de su baja frecuencia. Finalmente, para comparar las distribuciones de uso de rafting en función del caudal histórico del río, éste último también fue ajustado a curvas de distribución de probabilidades.

Las observaciones de realización de rafting fueron contrastadas con los siguientes tipos de distribución de probabilidades: normal, log-normal, gamma, gumbel, g.e.v., log-pearson III, chi-cuadrado y beta. Para ajustar sus parámetros se utilizaron métodos de máxima verosimilitud y máxima bondad de ajuste (Venables & Ripley, 2002). Luego, para validar la calidad del ajuste se utilizó un test de chi-cuadrado, contrastando los datos reales contra los obtenidos en cada distribución (Johnson, Kotz & Balakrishnan, 1994). En caso de contar con varias distribuciones significativas, se compararon visualmente las distribuciones modeladas, buscando un mejor ajuste en torno a las medias y medianas.

Acorde a los resultados de la sección de caracterización, se ajustaron curvas para las estaciones de otoño-invierno (baja frecuencia de público y bajo caudal) y las estaciones de primavera-verano (alta frecuencia de público y alto caudal). En el caso de otoño-invierno, se registraron dos valores atípicos extremos con caudales sobre 300 m³/s (Figura 4-2, caudal en función de la estación del año), los que fueron eliminados de la serie de datos, permitiendo el ajuste de las curvas de uso y preferencia.

Finalmente, las probabilidades de cada curva de distribución fueron reescaladas entre los valores 0 y 1, dándole el valor 1 a la mayor probabilidad de ocurrencia y 0 a la menor probabilidad. Para esto se utilizó la siguiente ecuación:

$$f(x) = \frac{x - \min_x}{\max_x - \min_x}$$

En donde x representa las probabilidades utilizadas, \min_x representa el valor mínimo de x, y el valor \max_x , el valor máximo de x.

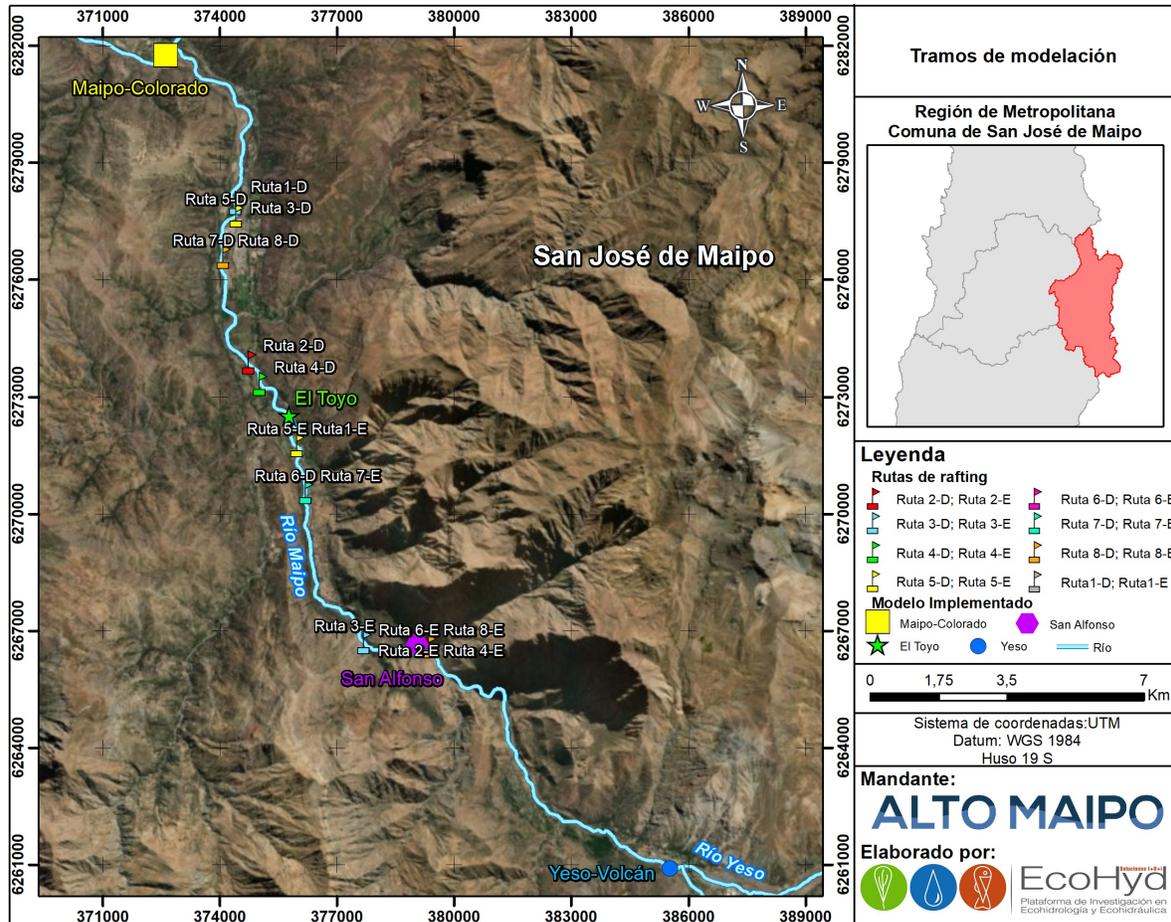
3.6 Caudal mínimo y máximo aceptable para realización de rafting en el río Maipo

Se realizó una revisión de antecedentes bibliográficos orientada a la determinación de umbrales hidrodinámicos máximos y mínimos para la realización de rafting. La búsqueda se orientó principalmente en la determinación de caudales, velocidades, profundidades, esfuerzo de corte, número de Reynolds, número de Froude o cualquier otro parámetro hidráulico que permita la definición de un caudal mínimo o máximo a considerar para la realización de rafting.

Por otra parte, se realizó una revisión de los antecedentes disponibles por parte del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo respecto al tema en cuestión. De dicha revisión se identificaron en el informe de caudal ecológico (CEA, 2013) dos tramos del río Maipo comprendidos en el área de estudio donde se desarrollan las rutas de rafting en el río Maipo. Estos tramos fueron: el río Maipo en el puente el Toyo y río Maipo en San Alfonso. En ambos casos la modelación ya estaba implementada en Hec-Ras, por lo cual, fueron utilizados estos mismos modelos para la simulación de caudales.

Por otra parte, se logró obtener desde el estudio sedimentológico (APRISA, 2015) los datos de modelos hidráulicos en dos tramos cercanos al área de estudio: el primero fue en el río Maipo aguas abajo de la confluencia del río el Yeso; y un segundo en el río Maipo aguas arriba de la confluencia con el río Colorado, ambos tramos fueron implementados en Hec-Ras bajo los lineamientos de calibración presentados en el informe del estudio sedimentológico, la ubicación de los modelos implementados junto a las rutas de rafting que se realizan en el río Maipo se presentan en la Figura 3-3.

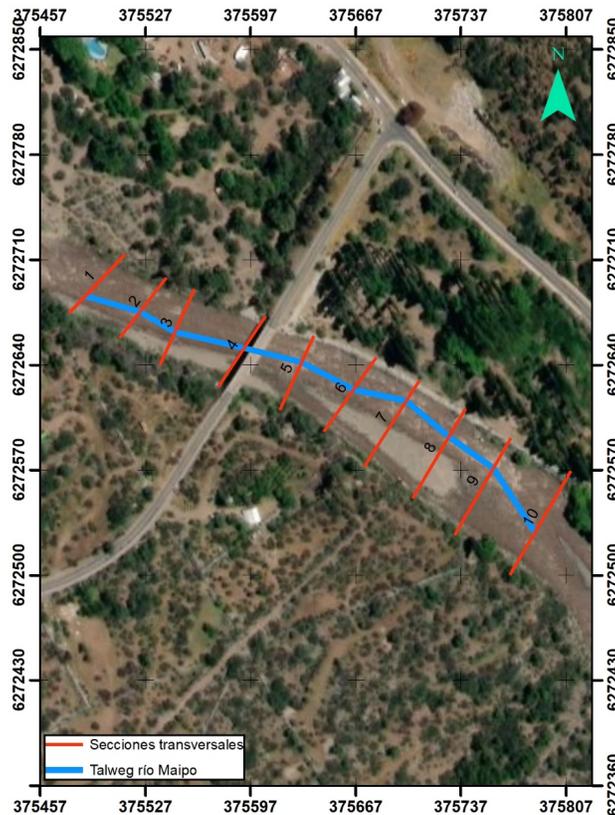
Figura 3-3 Rutas de Rafting y Modelos hidráulicos implementados.



Fuente: elaboración propia

Con los cuatro modelos hidráulicos implementados de los tramos relevantes para este estudio, se procedió a analizar los datos de observaciones de rafting e intersectarlos espacialmente con los modelos, de esta forma, sólo los modelos extraídos del informe del caudal ecológico (Toyo y San Alfonso) cumplían con la condición de ubicarse dentro de las rutas de rafting con datos de observación.

Luego, se realizó un análisis temporal de las series históricas de caudales, dado que los datos de observación de rafting sólo se registraron entre los años 2014 a 2017. Para este análisis, se contaba con la información hidrológica de la estación fluviométrica “río Maipo en San Alfonso”, la cual sólo presenta registro de caudales hasta el año 2016. Por este motivo, tuvo que ser desechado el tramo ubicado en río Maipo en San Alfonso puesto que la estación fluviométrica Maipo en San Alfonso no presenta registros de caudal para el año 2017. En consecuencia, de los modelos hidráulicos implementados en el área de estudio, sólo el modelo realizado en el río Maipo a la altura del puente el Toyo pudo ser utilizado para la obtención de parámetros hidráulicos en función de distintos caudales simulados (Figura 3-4).

Figura 3-4 Modelo implementado en el puente el Toyo.

Fuente: elaboración propia

Finalmente, los umbrales hidrodinámicos identificados en la revisión bibliográfica fueron transformados en umbrales de caudal específicamente para el tramo en estudio. Dicha transformación se realizó a partir de una simulación hidráulica, en donde se simuló una gran cantidad de caudales para dicho tramo (río Maipo a la altura del puente el Toyo). De cada caudal simulado se obtuvo la profundidad y velocidad media en cada sección que compone el modelo hidráulico. Finalmente, considerando los valores umbrales de profundidad y velocidad obtenidos de la revisión bibliográfica, estos se impusieron como condición mínima y máxima, determinando de esa manera los caudales asociados a dichos umbrales.

3.7 Idoneidad de realización de rafting en ambos escenarios

3.7.1 Generación de escenarios

Se construyeron dos escenarios hidrológicos que permitieron evaluar las condiciones para la realización de rafting en el tramo ubicado en el río Maipo a la altura del puente El Toyo.

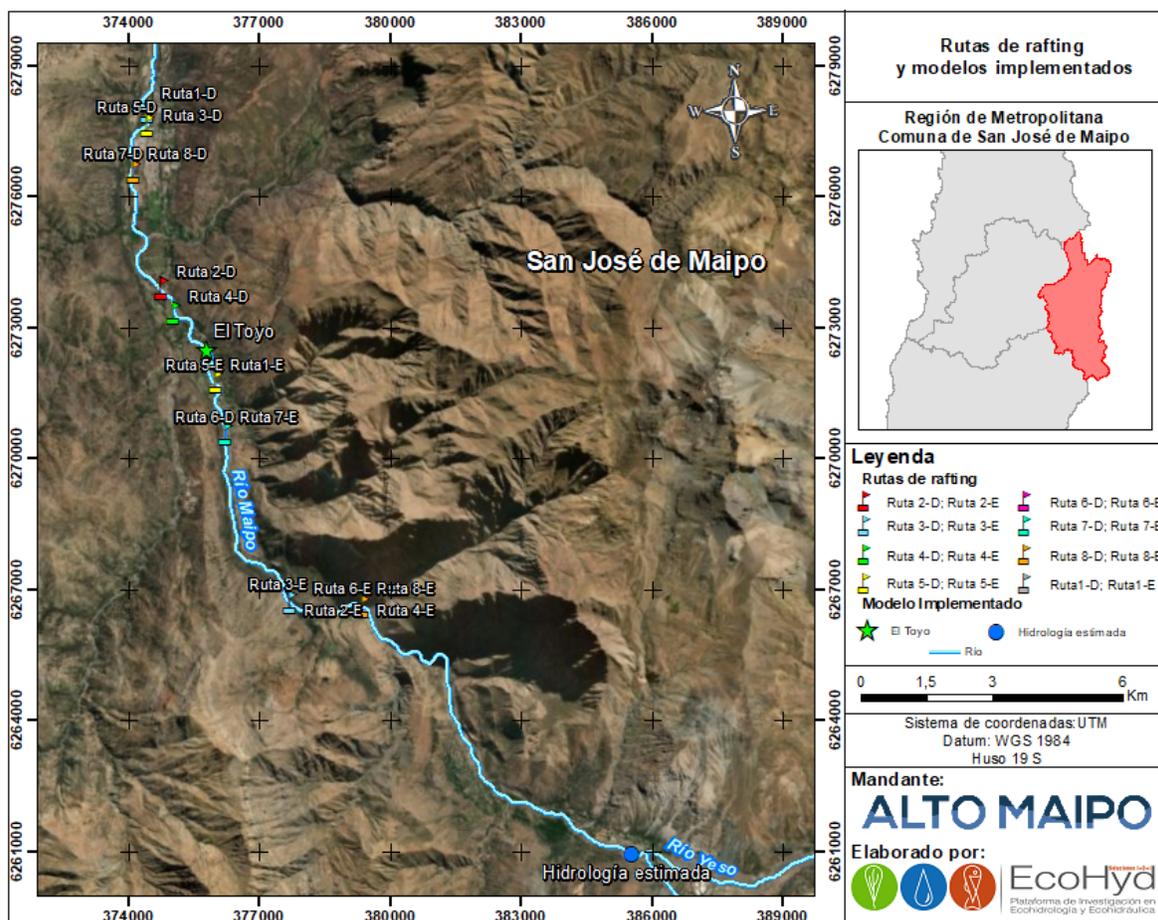
El primer escenario corresponde a la condición sin operación del PHAM, es decir, considerando la situación actual. La serie hidrológica diaria en el tramo de estudio fue

obtenida del “Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo. Estudio Sedimentológico Avanzado” desarrollado por APR Ingeniería S.A (2009).

El segundo escenario corresponde a la condición con operación del PHAM, es decir, la situación futura cuando el PHAM se encuentre en funcionamiento. Para este escenario, se consideró la serie hidrológica bajo la condición con proyecto desarrollada por APR Ingeniería S.A (APRISA, 2015) en el estudio “Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo. Estudio Sedimentológico Avanzado”. Ambos escenarios cuentan con información hidrológica diaria desde el 01 de enero de 1965 hasta 20 de julio de 2009.

Para ambos escenarios, se consideró la hidrología estimada en la sección del río Maipo inmediatamente aguas abajo del río Yeso (Figura 3-5). Se eligió esta sección por ser el caudal asociado al tramo sobre el río Maipo en donde comienzan las rutas de los operadores turísticos para la realización de rafting.

Figura 3-5 Ubicación del tramo del río Maipo del cual se consideró la hidrología estimada en APRISA (2015)



Fuente: información basada en APRISA (2015)

De esta forma, los escenarios analizados consideran una situación conservadora desde el punto de vista del caudal del río Maipo, puesto que no se toman en cuenta los aportes de afluentes laterales que recibe el río Maipo a lo largo de todo el tramo en estudio.

3.7.2 Determinación de idoneidad en cada escenario

Para cada escenario generado se determinó la idoneidad de realización de la actividad rafting, determinando la preferencia de uso y la idoneidad para cada uno de los caudales diarios comprendidos en ambas series hidrológicas. De acuerdo con la temporalidad del caudal, se utilizó la curva de preferencia de uso de invierno/otoño o la de primavera/verano.

Entendiendo además, que la cantidad de usuarios de la actividad rafting es distinta en las estaciones otoño/invierno y primavera/verano, se determinó la idoneidad anual considerando la curva de preferencia de uso anual.

3.8 Comparación de la idoneidad de rafting entre ambos escenarios

De la construcción de los escenarios, se generaron dos series temporales diarias de preferencia de uso. En cada una de ellas se realizó una estadística descriptiva básica, en donde se obtuvo la media, varianza y percentiles.

Para cada escenario, se generaron histogramas de número de días versus rangos de preferencias. Cada rango es de 0.1 veces la preferencia, por lo tanto, el primer rango es la preferencia de uso entre 0 y 0.1, el siguiente rango está definido entre 0.1 y 0.2 de preferencia de uso, y así sucesivamente hasta llegar a la preferencia igual a 1.

Finalmente, se realizó una comparación entre los histogramas de ambos escenarios. Para ello se consideró como condición base el histograma de preferencias bajo la condición sin PHAM y se determinó la variación porcentual del histograma de preferencia bajo la condición con PHAM considerando a la condición base como referencia.

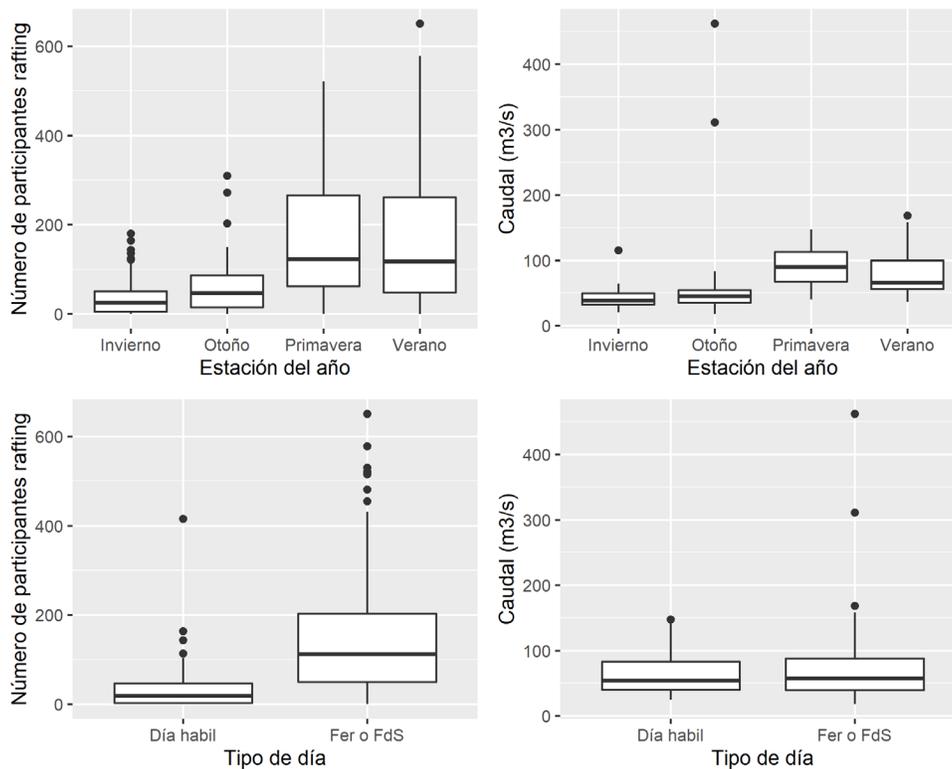
4 RESULTADOS

4.1 Curvas de preferencias

4.1.1 Caracterización de datos disponibles

De acuerdo con los datos obtenidos por FDC, se registraron 31.708 personas asistiendo al rafting durante los cuatro años de muestreo (2014-2017), con un promedio de 113 personas por día y un máximo de 650 personas en un solo día. Cuando relacionamos el número de participantes del rafting en función de la estación del año, vemos un aumento de los participantes durante primavera y verano. Al mismo tiempo, se registra un aumento en los participantes durante los días feriados y fines de semana independientemente a la estación del año. Al evaluar el caudal asociado a los días de muestreo, se observa un aumento leve en verano y un mayor aumento en primavera. El caudal no varía con el tipo de día (hábil o feriado/fin de semana) (Figura 4-1).

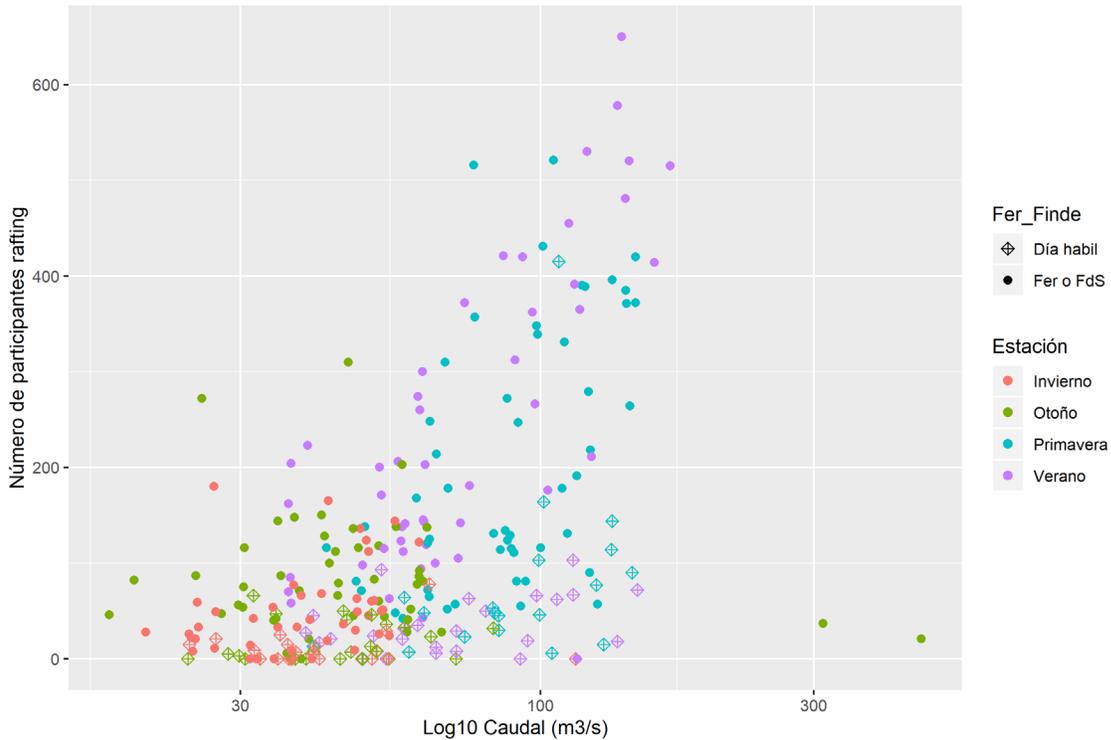
Figura 4-1 Boxplot para relacionar número de participantes del rafting (izquierda) y caudal registrado durante observaciones de rafting (derecha), en función de la estación del año (arriba) y el tipo de día (abajo). Fer o FdS = Feriado o Fin de semana.



Fuente: elaboración propia

La relación entre los participantes del rafting y el caudal registrado muestra que, a mayor caudal, mayor número de participantes por día, aunque en esta relación se observa el importante rol de la estación del año (Figura 4-2).

Figura 4-2 Relación del número de participantes de rafting por día en función del caudal en logaritmo en base 10. El color del punto indica la estación del año del registro y la forma del punto indica el tipo de día del registro. Fer o FdS = Feriado o Fin de semana.



Fuente: elaboración propia

Al evaluar el análisis ANOVA de dos vías para el rafting, vemos que la estación del año y el tipo de día logran explicar significativamente el número de participantes, lo que implica que ambas variables determinan un aumento en el número de participantes por día, aumentando en primavera-verano y los fines de semana y feriados. Sin embargo, ambas variables no interactúan entre sí, por lo que el aumento de participantes en función de la estación es independiente al aumento de participantes en función del día de la semana (Tabla 4-1). Luego, cuando se evalúa el ANOVA de dos vías para el caudal registrado durante los días de muestreo, se observa que sólo la estación del año explica significativamente su variación, no los fines de semana y feriados (Tabla 4-2). Al observar los resultados del análisis Tukey, las diferencias significativas entre las estaciones del año (Tabla 4-3), tanto para rafting como para caudales son las mismas. De esta forma, tanto el caudal como el número de participantes de rafting son menores en otoño e invierno y mayores en primavera y verano.

Los resultados de la caracterización del rafting indican que tanto la frecuencia de público como el caudal del río presentan una disminución durante los meses de otoño e invierno, y un aumento durante primavera y verano, representando dos diferentes contextos de desarrollo de la actividad y justificando el ajuste de dos curvas de preferencia y de uso, una para las estaciones de Otoño-invierno y otra para Primavera-verano.

Tabla 4-1 Resultados ANOVA de dos vías para el número de participantes de rafting por día en función de la estación del año (otoño, invierno, primavera o verano) y el tipo de día (día hábil o feriado/fin de semana). G.L.=Grados de libertad, F value= nivel de significancia F Fisher, P value= nivel de significancia de probabilidad, P perm=test de permutación

Rafting ~	G.L.	F value	P value	P perm
Estación	3	41.063	<2e-16	0.001
Tipo de día	1	162.251	<2e-16	0.001
Estación * Tipo de día	3	2.394	0.0687	0.071
Residuales	272			

Fuente: elaboración propia

Tabla 4-2 Resultados ANOVA de dos vías para el número el caudal registrado durante los días de muestreo de rafting en función de la estación del año (otoño, invierno, primavera o verano) y el tipo de día (día hábil o feriado/fin de semana). G.L.=Grados de libertad, F value= nivel de significancia F Fisher, P value= nivel de significancia de probabilidad, P perm=test de permutación

Caudal ~	G.L.	F value	P value	P perm
Estación	3	57.1718	<2e-16	0.001
Tipo de día	1	0.0634	0.8013	0.786
Estación * Tipo de día	3	0.4089	0.7467	0.747
Residuales	272			

Fuente: elaboración propia

Tabla 4-3. Resultados de test de Tukey entre estaciones del año para número de participantes del rafting y caudales registrados los días de conteo de rafting. En diff, se muestran diferencias entre variables normalizadas por categoría. En p adj, se muestra significancia de la diferencia.

Estación del año	Tukey rafting		Tukey caudales	
	diff	p adj	diff	p adj
Otoño-Invierno	0.37	0.064	0.28	0.133
Primavera-Invierno	1.24	<2e-16	1.59	<2e-16
Verano-Invierno	1.15	<2e-16	1.26	<2e-16
Primavera-Otoño	0.87	<2e-16	1.30	<2e-16
Verano-Otoño	0.79	<1e-6	0.98	<2e-16
Verano-Primavera	-0.09	0.933	-0.33	0.050

Fuente: elaboración propia

Si bien, y tal como se explicó anteriormente, las diferencias significativas entre caudales y asistentes al rafting entre invierno y verano sugieren la realización de una curva de preferencia y otra de uso para cada época del año, se optó además por determinar una única curva de preferencia y otra para uso para todo el año.

Estas curvas anuales nos permiten determinar la preferencia ponderada por asistentes en verano e invierno, y por otra parte, ampliar el rango de caudales a evaluar bajo la operación del PHAM.

4.1.2 Ajuste de distribuciones de probabilidad

En general, las cuatro distribuciones de probabilidades (caudal histórico = caudal registrado por 30 años en el área de estudio; caudal muestreado = caudal registrado solo los días de observación de rafting; curva de uso = frecuencia de participantes de rafting en función del caudal; curva de preferencia = frecuencia de participantes de rafting en función del caudal ponderado por su ocurrencia) se ajustaron con bastante precisión (Tabla 4-4). En el caso del caudal histórico para todo el año, la curva seleccionada fue log-pearson III, mostrando un ajuste marginalmente significativo. El caudal muestreado durante todo el año muestra un preciso ajuste, seleccionándose una distribución gamma. En el caso de los caudales históricos por estación, la distribución seleccionada para otoño-invierno fue G.E.V, y la distribución seleccionada para primavera-verano fue log-pearson III, ambas ajustándose de manera significativa.

En el caso de los caudales de los días de muestreo, la distribución seleccionada para otoño-invierno fue lognormal, y la distribución seleccionada para primavera-verano fue log-pearson III, ambas ajustándose de manera significativa. En el caso de la curva de preferencia para el rafting, la distribución seleccionada para todo el año fue la curva de probabilidad beta; para otoño-invierno fue una distribución normal; y la distribución seleccionada para primavera-verano fue beta. Sólo las últimas dos se ajustan de manera significativa. Finalmente, en el caso de la curva de uso para el rafting, la distribución seleccionada para todo el año fue beta; para otoño-invierno fue normal; y la distribución seleccionada para primavera-verano fue beta. Las curvas anuales de preferencia y de uso no se ajustan de manera significativa debido a que las distribuciones registradas son altamente similares a una distribución uniforme. Sin embargo, siguiendo con los objetivos del presente informe, lo observado en los datos y su capacidad explicativa, se prefirió trabajar con las distribuciones que presentaron un mejor ajuste y concordancia con lo observado.

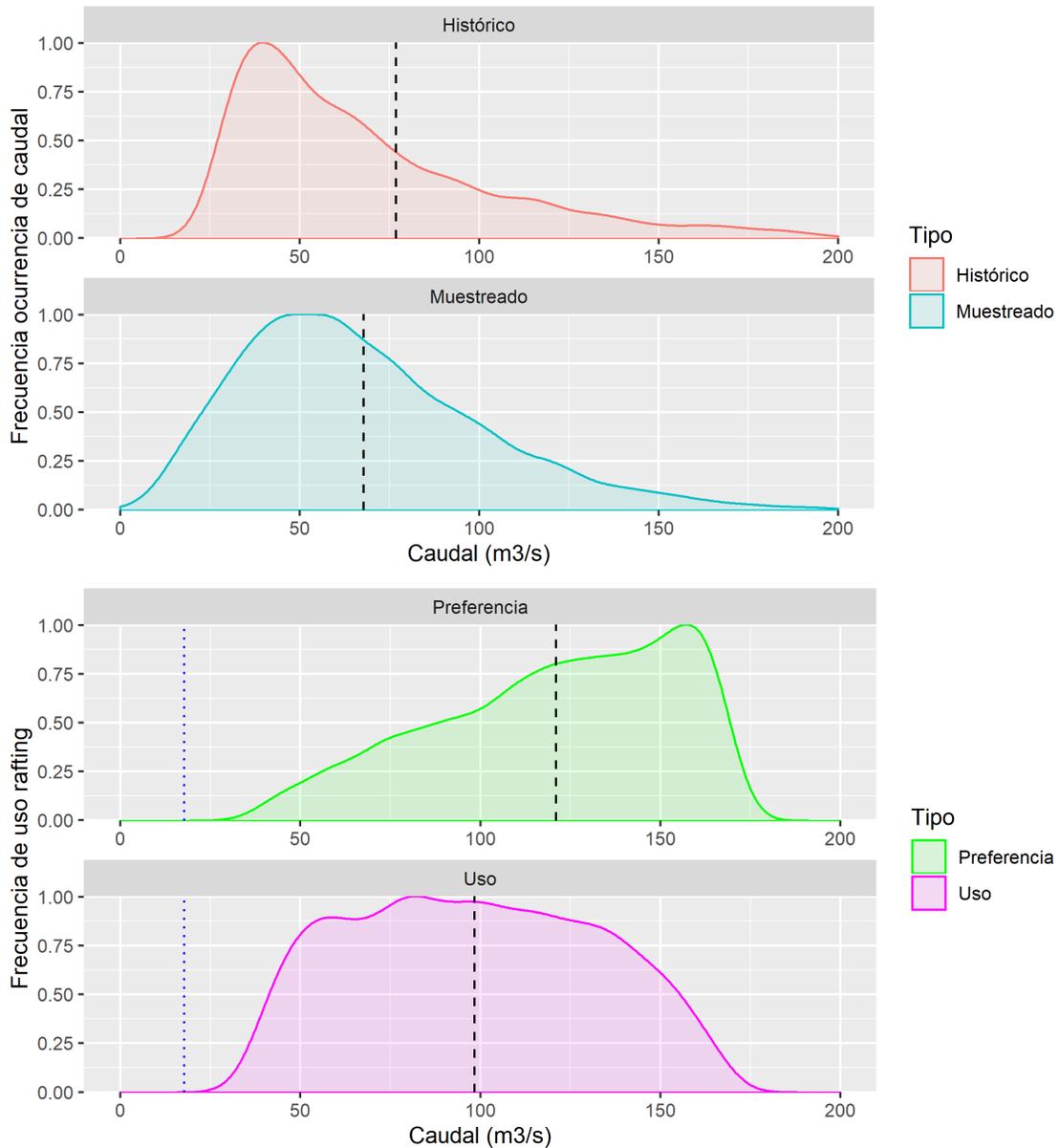
Tabla 4-4 Ajustes de distribución en función del tipo de datos (caudal histórico, caudal muestreado durante días de observación de rafting, curva de preferencia de rafting y curva de uso de rafting) y la estación del año. Se muestra la distribución seleccionada, el chi-cuadrado estimado, el chi-cuadrado umbral, el p value del test y si fue aceptado o rechazado.

Tipo	Estación del año	Distribución seleccionada	Chiq estimado	Chiq umbral	P value	Test
Caudal histórico	anual	log-pearson III	15.32	15.31	0.053	Aceptado
Caudal muestreado	anual	gamma	0.55	12.59	0.997	Aceptado
Rafting preferencia	anual	beta	19.12	12.59	0.004	Rechazado
Rafting uso	anual	beta	822.08	11.07	1.94e-175	Rechazado
Caudal histórico	Otoño Invierno	GEV	9.53	12.59	0.146	Aceptado
Caudal muestreado	Otoño Invierno	lognormal	1.1	12.59	0.981	Aceptado
Rafting preferencia	Otoño Invierno	normal	11.34	12.59	0.078	Aceptado
Rafting uso	Otoño Invierno	normal	85.59	12.59	2.49E-16	Rechazado
Caudal histórico	Verano Primavera	log-pearson III	15.99	19.68	0.142	Aceptado
Caudal muestreado	Verano Primavera	log-pearson III	4.29	12.59	0.638	Aceptado
Rafting preferencia	Verano Primavera	beta	10.49	11.07	0.063	Aceptado
Rafting uso	Verano Primavera	beta	169.44	11.07	9.63E-35	Rechazado

Fuente: elaboración propia

Al observar las distribuciones de todo el año (Figura 4-3), se observa la similitud entre la curva de caudal histórico y muestreado, diferenciándose mayormente en la forma de la curva, más puntiaguda en el caso histórico. La curva de preferencia muestra un aumento a mayores caudales, mientras que la curva de uso muestra una distribución casi uniforme.

Figura 4-3. Densidad de distribuciones ajustadas según el tipo de datos (caudal histórico, caudal muestreado durante días de observación de rafting, curva de preferencia de rafting y curva de uso de rafting). En el caso de las distribuciones de rafting, las líneas azules muestran los caudales mínimos registrados durante la observación. El máximo es 462 m³/s, por lo que queda fuera del eje.

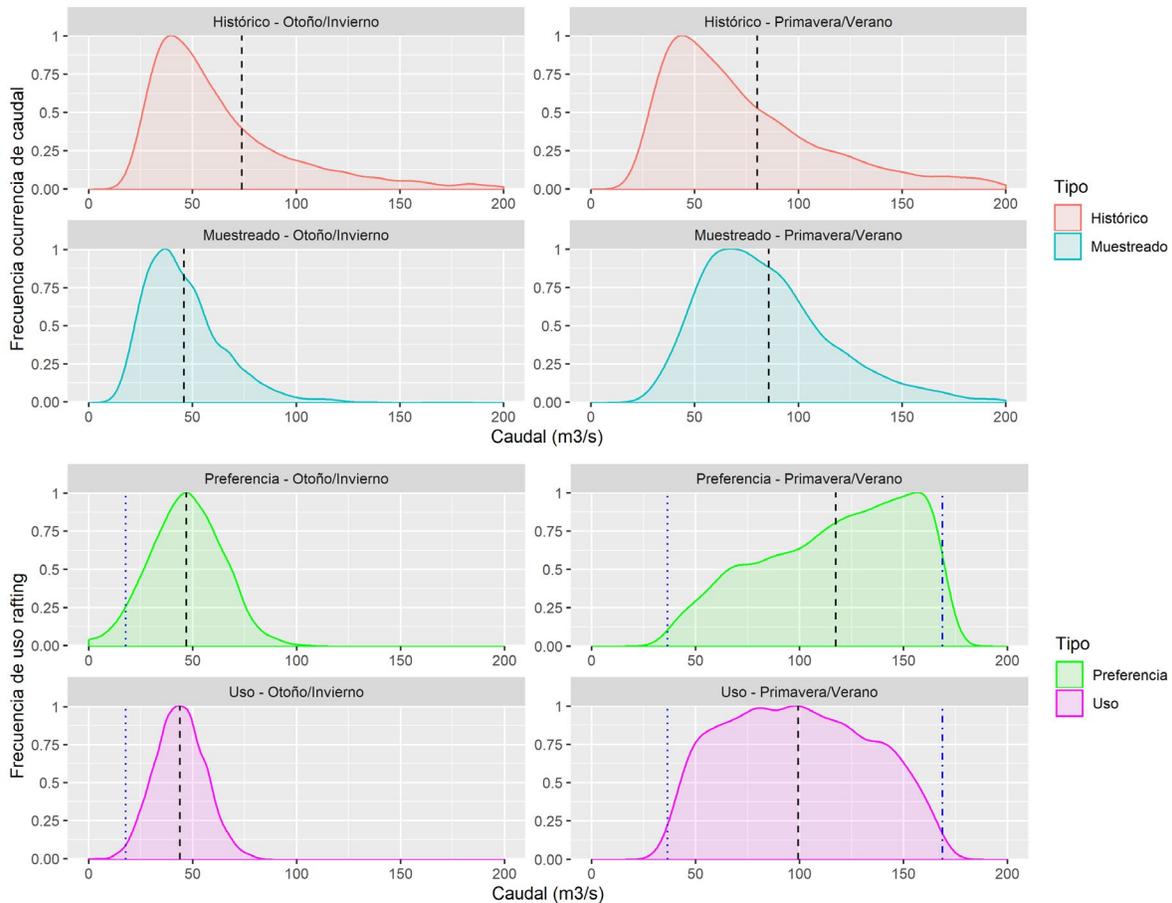


Fuente: elaboración propia

Al observar las distribuciones por estación del año (Figura 4-4), es posible observar que en el caso de otoño-invierno, los picos en las curvas de uso y preferencia de rafting ocurren bajo los caudales con mayor registro durante esta estación, tanto para el caudal muestreado como el histórico. De manera contraria, durante primavera-verano, la curva de uso muestra una distribución homogénea entre el mínimo y el máximo de los caudales

registrados. En el caso del caudal de preferencia, se observa un aumento de la frecuencia hacia mayores caudales. Durante primavera-verano, los caudales más frecuentes tienden a ser menores a los que muestra la curva de preferencia para su óptimo.

Figura 4-4 Densidad de distribuciones de probabilidades ajustadas según el tipo de datos (caudal histórico, caudal muestreado durante días de observación de rafting, curva de preferencia de rafting y curva de uso de rafting) y la estación del año, en función del caudal. La línea negra muestra el promedio de cada distribución. En el caso de las distribuciones de rafting, las líneas azules muestran los caudales mínimos y máximos registrados durante la observación. Durante otoño-invierno, el máximo es 462 m³/s (fuera del eje).



Fuente: elaboración propia

De las curvas de uso se puede apreciar que, tanto para el verano como para todo el año, la preferencia por uso es bastante estable entre los 50 y 150 m³/s, con preferencias por sobre 0.75. Para el invierno, la preferencia por uso es más centrada y acotada en su distribución, presentando valores por sobre 0.8

En resumen, fue posible generar 3 curvas de preferencias y 3 curvas de uso. Cada una de ellas considerando la información de muestreo para todo el año y agrupándolos por estacionalidad (otoño/invierno y primavera/verano).

Las curvas de preferencia y las de uso, presentan rangos de caudales en las cuales son válidas su aplicación. Dichos rangos están definidos entre 21 y 76 m³/s para las curvas de otoño/invierno; y entre 31 y 170 m³/s para las curvas de primavera/verano.

Las curvas de otoño/invierno muestran una forma más puntiaguda centrada en el valor medio del caudal el cual coincide con el caudal con mayor cantidad de registros de observaciones de realización de rafting (línea punteada en Figura 4-4). Esto puede ser explicado dado que en otoño-invierno la cantidad de asistentes a rafting se concentró principalmente en torno al valor medio.

De manera contraria, durante primavera/verano, la curva de uso muestra una distribución homogénea entre el mínimo y el máximo de los caudales registrados. Esto se traduce en que el usuario realiza la actividad de rafting en un gran rango de caudales. Por ejemplo, entre 50 y 150 m³/s el usuario de rafting manifiesta una alta preferencia.

En el caso del caudal de preferencia, se observa un aumento de la frecuencia hacia mayores caudales y además, los caudales más frecuentes tienden a ser menores a aquellos caudales asociados a una mayor preferencia (Figura 4-4). La curva de preferencia de uso en primavera-verano presenta una forma de meseta con preferencias mayores a 0.75 definidas entre los caudales de 50 y 150 m³/s. Esto genera que el usuario prefiera un gran rango de caudales para la realización de rafting en esta época del año.

4.2 Caudal mínimo y máximo aceptable para realización de rafting en el río Maipo

La revisión bibliográfica (Anexo A) permitió identificar umbrales en profundidad y velocidad del flujo para la realización de rafting. En términos generales, las profundidades fueron utilizadas para determinar condiciones mínimas para la realización del rafting, mientras que la velocidad se utiliza comúnmente para la determinación de un umbral máximo. En la tabla 4-5 se muestra un resumen de las condiciones hidrodinámicas más referenciadas en literatura especializada como condición mínima y máxima para la realización de rafting.

Tabla 4-5 Condiciones hidrodinámicas mínimas y máximas para la realización de la actividad recreativa rafting

Variable	Mínima	Máxima	Bibliografía
Profundidad (m)	0,2-0,6		Gordon et al. (2004)*; Rood & Tymensen (2001)*, Rood et al.(2003)*;
Velocidad (m/s)	0-1	4,5	Hyar (1978); Mosley (1983)

(*) tomadas de SEA (2016)

Fuente: basado en. Anexo A

De acuerdo con lo indicado en la tabla anterior, se definieron los siguientes criterios para determinar el caudal mínimo y máximo para la realización de rafting:

- La profundidad mínima en todas las secciones debe ser mayor a 0.2 metros.
- Más de la mitad de las secciones transversales deben presentar profundidades mayores a 0.6 metros.
- Todas las secciones transversales deben presentar velocidades inferiores a 4.5 m/s.

Basado en estos criterios, se determinó la profundidad y la velocidad media en cada sección transversal comprendida en la modelación hidráulica en el tramo del río Maipo a la altura del puente el Toyo.

En este tramo, se simularon 70 situaciones representativas donde se incluyeron los rangos de caudales considerados en el estudio del caudal ambiental (CEA, 2013) más los caudales necesarios para analizar las curvas de preferencia y de uso elaboradas previamente, de acuerdo a los rangos de validez de cada una de las curvas consideradas. A continuación, en la Tabla 4-6 se presentan los caudales simulados.

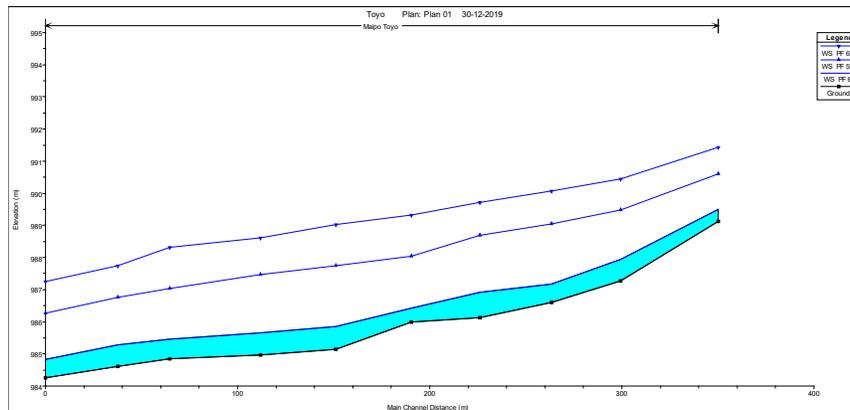
Tabla 4-6 Caudales simulados en el Toyo.

Caudal simulado (m ³ /s)				
0.001	24.5	49	73.5	190
1.6	26.1	50	75.1	200
3.3	27.8	52.2	76.7	225
4.9	30.8	53.9	78.4	250
6.5	31	56	80	275
8.2	32.7	57.1	90.1	300
9.8	34.3	58.8	100.3	350
11.4	35.9	60.4	110.4	400
13.1	37.6	62	120.5	500
14.7	39.2	63.7	130.7	600
16.3	40.8	65.3	140.8	
18	42.4	66.9	150.9	
19.6	44.1	68.6	160	
21.2	45.7	70.2	170	
22.9	47.3	71.8	180	

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presenta el perfil longitudinal (Figura 4-5) resultante para la simulación de los caudales de 8.2, 160 y 400 m³/s.

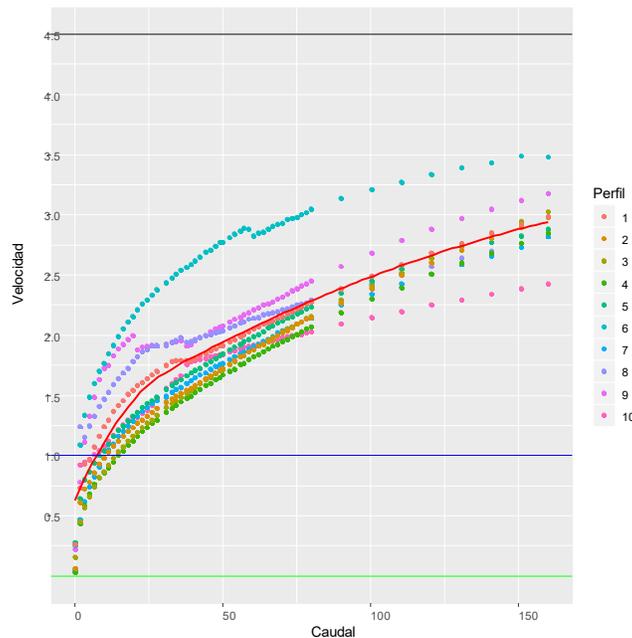
Figura 4-5 Perfil longitudinal en el modelo implementado en el puente el Toyo.



Fuente: elaboración propia

En cuanto a los perfiles transversales, se verificó que los perfiles 1, 2 y 5 no fueron capaces de portear los caudales más altos (desde caudales mayores a 200 m³/s), lo cual influye en los resultados de velocidad media obtenidos y de la profundidad, ya que estos parámetros dependen directamente del área de escurrimiento. Además de la velocidad, se obtuvieron resultados de altura de escurrimiento y la superficie libre de agua (ancho), producto que, según los resultados de la revisión de antecedentes bibliográficos de estudios sobre preferencias de rafting, son los parámetros hidráulicos a los que se les estimaron umbrales. De esta forma se obtuvieron los siguientes gráficos.

Figura 4-6 Grafico de caudales vs velocidad.



Fuente: elaboración propia

En la Figura 4-6 se presenta el gráfico de caudales vs velocidades resultantes en cada uno de los perfiles transversales que componen el modelo hidráulico del tramo.

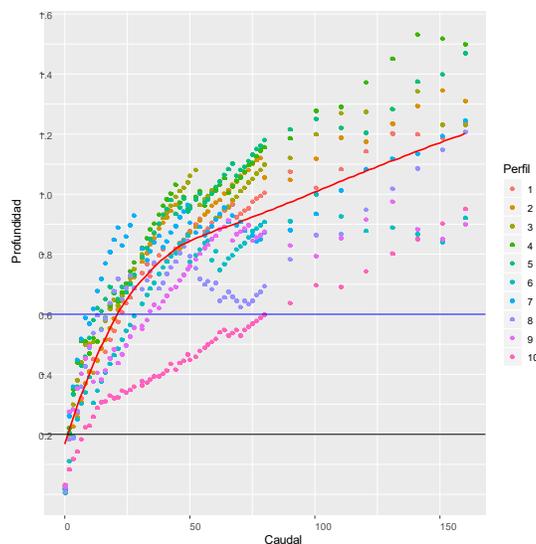
Como se mencionó anteriormente, se determinaron como umbrales mínimo y máximo de velocidad los valores de 1 y 4.5 m/s respectivamente. Dichos umbrales se representan como líneas continuas en la Figura 4-6 (línea verde para velocidad nula, línea azul para velocidad igual a 1 m/s y línea negra para velocidad igual a 4.5 m/s). En ella se observa que para los caudales graficados (menores a 170 m³/s) no logran alcanzar la velocidad máxima de 4.5 m/s. Cabe destacar que las velocidades resultantes de los modelos Hec-Ras corresponden a velocidades medias de la sección, por tal motivo, se aplicó un factor M de 0.8 en base al principio de entropía que relaciona la velocidad media a la velocidad superficial, que para el estudio corresponde a la velocidad con la cual se desplazan las balsas de rafting. Extrapolando dichos resultados a caudales mayores, se determinó que el caudal asociado a una velocidad superficial de 4.5 m/s corresponde a 225 m³/s.

Con respecto al caudal mínimo para realizar la actividad, considerando el umbral de velocidad mínima, se determinó basado en que todas las secciones transversales presentasen velocidades medias mayores a 1 m/s. Como resultado se obtiene que el caudal asociado a dicha condición es de 16.3 m³/s.

En consecuencia, considerando exclusivamente la velocidad como variable para el desarrollo de rafting, el rango de caudales mínimo y máximo queda definido entre 16.3 y 225 m³/s, respectivamente.

Con respecto a la profundidad se realizó un análisis similar al realizado para la velocidad. La Figura 4-7 presenta los caudales vs las profundidades máximas para cada perfil transversal comprendido en el modelo. En este gráfico se indicaron los límites de 0,6 m (línea azul) y 0,2 m (línea negra) como condición mínima y crítica, respectivamente.

Figura 4-7 Gráfico de caudales vs profundidad.



Fuente: elaboración propia

Para el caso de las profundidades se evidencia que la mayoría de los perfiles cumple con las condiciones de profundidad, la línea roja corresponde a la profundidad promedio de todos los perfiles para cada caudal simulado.

Considerando que todas las secciones transversales tengan un escurrimiento mínimo de 0.2 m, el caudal crítico es igual a 8.3 m³/s. Al considerar que todas las secciones tengan en promedio una altura de escurrimiento de 0.6 m, el caudal mínimo es iguala 20.8 m³/s. Finalmente, si se considera que todas las secciones debiesen cumplir con la condición mínima de 0,6 m, el caudal mínimo es igual a 32.3 m³/s.

De esta forma, se considera que el caudal crítico para realizar rafting es de 8.3 m³/s, mientras que el mínimo es igual a 20.8 m³/s.

Al considerar ambas variables (velocidad y profundidad), los caudales mínimos y máximos se resumen en la Tabla 4-7

Tabla 4-7 Caudales (m³/s) mínimo y máximo para la realización de rafting considerando umbrales de velocidad y profundidad definidos en la literatura especializada

	Profundidad	Velocidad
Crítico	8.3	
Mínimo	20.8	16.3
Máximo		225

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con lo estipulado en la tabla anterior, y verificando que el caudal mínimo y máximo cumplan con las condiciones impuestas en ambas variables, se asigna como caudal mínimo y máximo los valores de 20.8 m³/s y 225 m³/s, respectivamente.

4.3 Idoneidad de realización de rafting en ambos escenarios

4.3.1 Escenarios generados

4.3.1.1 Escenarios sin PHAM

Este escenario fue construido a partir de la hidrología desarrollada por APRISA (2015) como parte del estudio sedimentológico. En la Tabla 4-8 se muestran los caudales medios mensuales de la serie histórica de caudales diarios.

Tabla 4-8 Hidrograma medio anual de las series hidrológica diaria entre enero 1965 a enero 2009 bajo la condición sin proyecto (sin PHAM).

Escenario	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
SIN PHAM	148,9	102,4	69,6	45,1	34,3	37,8	31,3	30,8	34,6	58,3	100,4	160,3

Fuente: tomado de APRISA (2015)

4.3.1.2 Escenario con PHAM

Este escenario, y de forma análoga al escenario bajo la condición sin proyecto, se obtuvo de la serie hidrológica diaria determinada en el estudio sedimentológico desarrollado por APRISA (2009) bajo la condición de operación. En la Tabla 4-9 se muestra el hidrograma medio anual de la serie utilizada para la condición con proyecto.

Tabla 4-9 Hidrograma medio anual de las series hidrológica diaria entre enero 1965 a enero 2009 bajo la condición con proyecto (con PHAM)

Escenario	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
CON PHAM	124,1	81,4	54,8	35,5	28,6	28,7	27,1	26,6	31,2	48,5	92,2	138,0

Fuente: tomado de APRISA (2015)

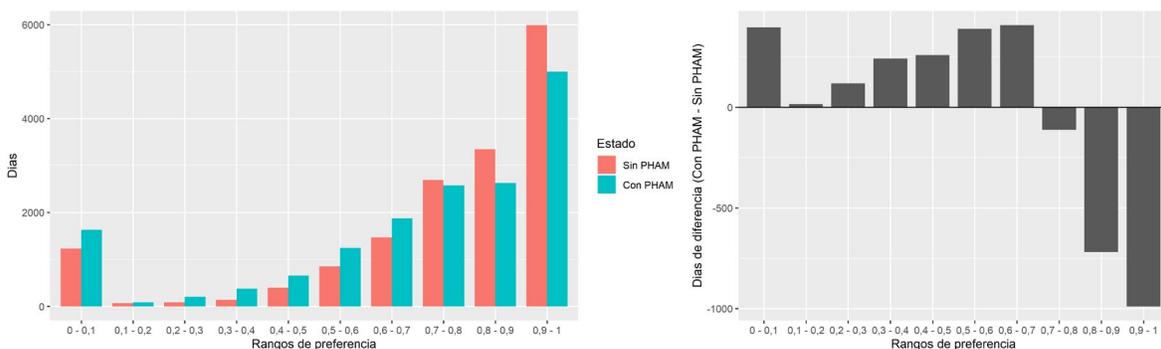
4.4 Comparación idoneidad de realización de rafting

La comparación entre ambos escenarios se realizó para tres condiciones distintas de la preferencia de uso: anual, verano e invierno.

Esta comparación se llevó a cabo considerando la variación de la cantidad de días entre ambos escenarios para un mismo rango de preferencia. Además, se determinó la variación porcentual de variación de la preferencia para el escenario con PHAM tomando como referencia la situación sin PHAM.

El histograma de la preferencia del uso anual para ambos escenarios se muestra en la Figura 4-8. En términos generales, es posible apreciar que el histograma de frecuencia de días con preferencias mayores a 0.7 sufre una pequeña disminución en el escenario con PHAM respecto al sin PHAM, debido a la disminución de los caudales producto de la operación de PHAM. Por otra parte, para preferencias entre 0.3 y 0.7, la frecuencia sufre un leve aumento en el escenario con PHAM, debido a la compensación que sufre la disminución de los caudales y por tanto la disminución de las frecuencias de días asociadas a altas preferencias.

Figura 4-8 Histograma (izq) de la idoneidad de uso anual en ambos escenarios para la realización del rafting y variación de la cantidad días de preferencia del escenario con PHAM respecto a la situación sin PHAM para distintos rangos de preferencia (der).



Fuente: elaboración propia

Para la situación anual, los resultados de la comparación se muestran en la Tabla 4-10.

Tabla 4-10 Comparación de las preferencias anuales entre el escenario con PHAM (CP) y el escenario sin PHAM (SP).

Clase	SP	CP	Diferencia	%
(0-0.1)	1235	1630	395	31.98
(0-0.2)	67	82	15	22.39
(0-0.3)	85	203	118	138.82
(0.3-0.4)	138	378	240	173.91
(0.4-0.5)	397	655	258	64.99
(0.5-0.6)	854	1242	388	45.43
(0.6-0.7)	1466	1873	407	27.76
(0.7-0.8)	2692	2579	-113	-4.2
(0.8-0.9)	3348	2629	-719	-21.48
(0.9-1)	5990	5001	-989	-16.51

Fuente: elaboración propia

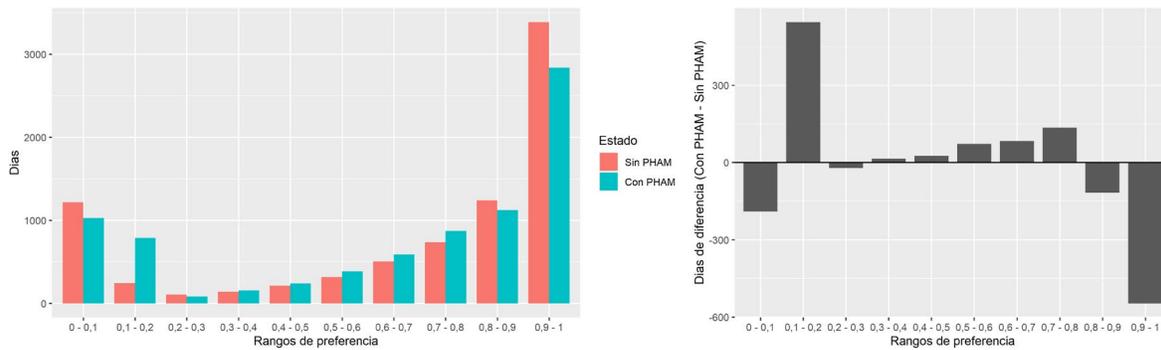
Si se consideran exclusivamente las preferencias mayores a 0.6, se aprecia que la cantidad de días con una preferencia comprendida entre 0.9 y 1 disminuye en 989 días en la totalidad de serie histórica evaluada. Para las preferencias comprendidas entre 0.8 - 0.9 y 0.7 – 0.8 la cantidad de días disminuye en 719 días y 113, respectivamente. Finalmente, para las preferencias comprendidas entre 0.6 – 0.7 hay un aumento de 407 días bajo la condición con PHAM.

Desde el punto de vista porcentual la variación de días con una preferencia máxima es igual a un -16.5% respecto a la condición sin PHAM. Para las preferencias 0.8 - 0.9 y 0.7 – 0.8 la pérdida de días es igual a 21.5% y 4.2% respecto a la condición sin PHAM, respectivamente. En relación con el rango de preferencia entre 0.6 – 0.7 el aumento de días es de un 27.7% respecto a la condición sin PHAM.

Finalmente, y de forma agregada, para el escenario sin PHAM, de los 16272 días que componen la hidrología de este escenario, 13496 días presentan una alta preferencia (por sobre 0.6), lo equivale a un 83% de los días contemplados en la serie hidrológica. Para el escenario con PHAM, la cantidad de días con preferencias por sobre 0.6 es igual a 12082, lo que equivale a 74% de los días totales. Se aprecia que hay una leve diferencia entre ambos escenarios en torno al 9%.

Para la condición de verano (Figura 4-9) se aprecia un efecto similar que el caso anual, en donde para el escenario con PHAM se evidencia una leve disminución de días con un mismo rango de preferencia elevadas, pero un aumento de días con rangos de preferencias medias.

Figura 4-9 Histograma (izq) de la idoneidad de uso primavera/verano en ambos escenarios para la realización del rafting y variación de la cantidad días de preferencia del escenario con PHAM respecto a la situación sin PHAM para distintos rangos de preferencia (der).



Fuente: elaboración propia

Para la época primavera/verano, los resultados de la comparación se muestran en la Tabla 4-11.

Tabla 4-11 Comparación de las preferencias en época primavera/verano entre el escenario con PHAM (CP) y el escenario sin PHAM (SP).

Clase	SP	CP	Delta	%
(0-0.1)	1218	1028	-190	-15.6
(0-0.2)	244	789	545	223.36
(0-0.3)	106	84	-22	-20.75
(0.3-0.4)	140	155	15	10.71
(0.4-0.5)	214	240	26	12.15
(0.5-0.6)	315	387	72	22.86
(0.6-0.7)	506	589	83	16.4
(0.7-0.8)	738	873	135	18.29
(0.8-0.9)	1240	1123	-117	-9.44
(0.9-1)	3388	2841	-547	-16.15

Fuente: elaboración propia

Si se consideran exclusivamente las preferencias mayores a 0.6, se aprecia que la cantidad de días con una preferencia comprendida entre 0.9 y 1 disminuye en 547 en la totalidad de serie histórica evaluada (8109 días de primavera y verano comprendidos entre los años 1965-2009). Para la preferencia comprendida entre 0.8 - 0.9 la cantidad de días disminuye en 117. Para las preferencias comprendidas entre 0.8 – 0.7 y 0.6 – 0.7 éstas aumentan en 135 y 83 días, respectivamente.

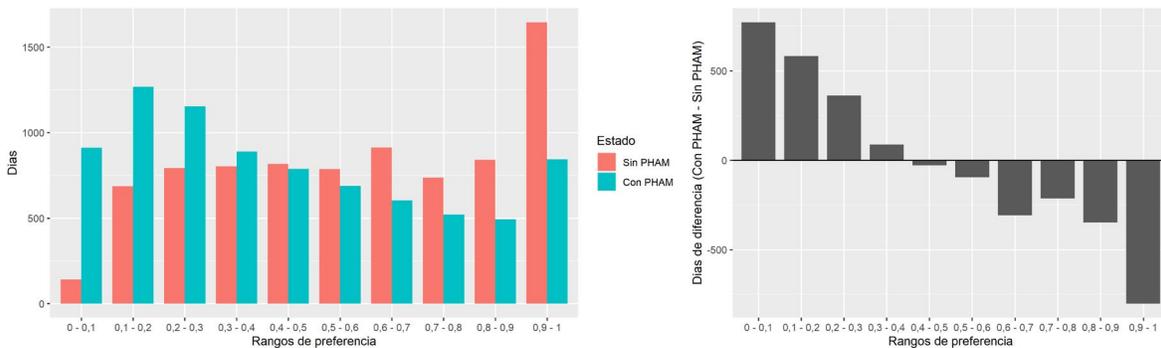
Desde el punto de vista porcentual, la disminución de días con una preferencia máxima es igual a un 16.2% respecto a la condición sin PHAM y para las preferencias 0.8 - 0.9 la disminución es de 9.4%. Para los rangos de preferencias comprendidos entre 0.7 – 0.8 y 0.6 – 0.7 el aumento de días con respecto al escenario sin PHAM es igual a 18.3% y 16.4%, respectivamente.

Finalmente, y de forma agregada, para el escenario sin PHAM, de los 8109 días que componen la hidrología de este escenario, 5872 días presentan una alta preferencia (por sobre 0.6), lo equivale a un 72% de los días contemplados en la serie hidrológica. Para el escenario con PHAM, la cantidad de días con preferencias por sobre 0.6 es igual a 5426, lo que equivale a 67% de los días totales. Se aprecia que hay una leve diferencia entre ambos escenarios en torno al 5%.

Finalmente, para la condición de invierno (Figura 4-10) los resultados muestran una situación distinta al verano, en donde se aprecia una disminución de días a partir de rangos de preferencia mayores a 0.5.

Esta mayor diferencia se produce debido a la forma puntiaguda de la curva de preferencia de uso, con la cual, una pequeña variación de caudal afecta considerablemente a la preferencia de uso.

Figura 4-10 Histograma de la idoneidad de uso en ambos escenarios para la realización del rafting considerando las observaciones realizadas en otoño/invierno



Fuente: elaboración propia

Para la época otoño/invierno, los resultados de la comparación se muestran en la Tabla 4-12.

Tabla 4-12 Comparación de las preferencias en época otoño/invierno entre el escenario con PHAM (CP) y el escenario sin PHAM (SP).



Clase	SP	CP	Delta	%
(0-0.1)	141	912	771	546.81
(0-0.2)	686	1268	582	84.84
(0-0.3)	793	1154	361	45.52
(0.3-0.4)	803	890	87	10.83
(0.4-0.5)	817	788	-29	-3.55
(0.5-0.6)	786	689	-97	-12.34
(0.6-0.7)	913	604	-309	-33.84
(0.7-0.8)	737	522	-215	-29.17
(0.8-0.9)	841	492	-349	-41.5
(0.9-1)	1646	844	-802	-48.72

Fuente: elaboración propia

Si se consideran exclusivamente las preferencias mayores a 0.6, se aprecia que la cantidad de días con una preferencia comprendida entre 0.9 y 1 disminuye en 802 días en la totalidad de serie histórica evaluada (8163 días de otoño e invierno comprendidos entre los años 1965-2009). Para las preferencias comprendidas entre 0.8 - 0.9 y 0.7 – 0.8, la cantidad de días disminuye en 349 y 215, respectivamente. Para el rango de preferencia comprendido entre 0.6 – 0.7 la disminución es de 309 días.

Desde el punto de vista porcentual, la disminución de días con una preferencia máxima es igual a un 48.7% respecto a la condición sin PHAM. Para las preferencias 0.8 - 0.9 y 0.7 – 0.8 la disminución de días es igual a 41.5% y 29.2%, respectivamente. Finalmente, para el rango de preferencias comprendido entre 0.6 – 0.7 la variación corresponde a una disminución de 33.8% respecto a la condición sin PHAM.

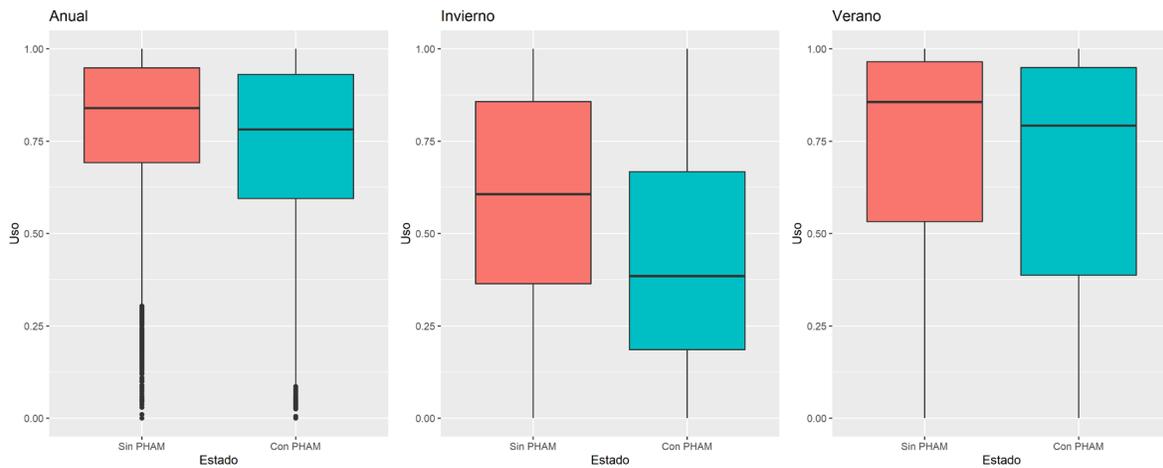
Finalmente, y de forma agregada, para el escenario sin PHAM, de los 8163 días que componen la hidrología de este escenario, 4137 días presentan una alta preferencia (por sobre 0.6), lo equivale a un 51% de los días contemplados en la serie hidrológica. Para el escenario con PHAM, la cantidad de días con preferencias por sobre 0.6 es igual a 2462, lo que equivale a 30% de los días totales. Se aprecia que hay una diferencia entre ambos escenarios en torno al 21%.

Para poder tener una visión más global de las variaciones en la idoneidad de realización del rafting en ambos escenarios, se construyó un boxplot para ambos escenarios y todas las situaciones (Figura 4-11). De esta figura, se aprecia que las medianas del escenario con PHAM para las condiciones anual y verano presentan valores similares a las medianas definidas en el escenario sin PHAM. Esto muestra que tanto para la preferencia de uso anual, como aquella realizada exclusivamente para primavera/verano, la alteración del régimen hidrológico producto de la operación de PHAM no evidencia una alteración significativa para la preferencia de uso.

Para la situación de invierno, se aprecia una disminución generalizada de los días con mayores preferencias en el escenario con PHAM, lo cual hace disminuir la mediana. En este caso, la alteración del régimen hidrológico muestra una alteración en la frecuencia de días con preferencias altas para rafting.

Por otra parte, se aprecia que para la totalidad de escenarios, existen días en los cuales la preferencia es nula, ya sea por presentar caudales muy elevados o caudales mínimos. Además, se aprecia que todos los escenarios presentan caudales con preferencia máxima (igual a 1).

Figura 4-11 Boxplot de la idoneidad para la realización de rafting para todo el año, verano e invierno para escenario sin PHAM y para escenario con PHAM.



Fuente: elaboración propia

5 DISCUSIÓN

La información recopilada en estudios anteriores permitió generar curvas de preferencia de realización de rafting y curvas de uso. Se consideró que las curvas de uso son más atingentes al estudio a realizar que la utilización de las curvas de preferencia, puesto que se supuso que el usuario o cliente de las operadoras de turismo de rafting son personas que no presentan un conocimiento técnico especializado de la actividad y simplemente disfrutan de la actividad mientras existan condiciones mínimas para su desarrollo, así como condiciones meteorológicas.

El estudio realizado por FDC permitió contar con más de 15000 observaciones, lo cual entrega una robustez estadística a las curvas generadas. La distribución de los caudales asociada a las observaciones realizadas sugiere que se realicen 3 curvas de uso: para observaciones anuales; para las épocas de otoño/invierno; y para primavera/verano.

Al momento de utilizar estas curvas de uso, es necesario tener en cuenta la cantidad de observaciones realizadas, por ejemplo, en otoño/invierno, la cantidad de observaciones es menor que la cantidad de observaciones realizadas en primavera/verano, por lo que realizar análisis por separado es útil para explicar y evaluar mejor las diferencias entre los días con altas preferencias en ambos escenarios (con y sin PHAM). Sin embargo, resulta inapropiado otorgar el mismo peso de alteración en ambas épocas del año, ya que en otoño/invierno la cantidad de asistentes es 8 veces menor que los asistentes en primavera/verano.

Para poder comparar ambas situaciones, se utilizó la curva de uso anual, en donde el “peso” asociado a cada época se ve reflejado implícitamente, lo cual se ve reflejado en que la curva de uso anual sigue una forma similar a la curva de uso de primavera/verano.

Las curvas de preferencias generadas muestran comportamientos levemente distintos entre el periodo otoño/invierno y primavera/verano. En el primero, la preferencia de uso presenta una forma de campana con la máxima preferencia en torno al valor medio de caudal registrado en las observaciones realizadas por FDC. A medida que el caudal se aleja de este valor medio, ya sea aumentando o disminuyendo, la preferencia por uso disminuye drásticamente. Este tipo de curva muestra un comportamiento bastante acotado por preferencia de uso en un pequeño rango de caudales.

Hay que tener en cuenta que, dada la naturaleza de la actividad de rafting, la cual se realiza bajo condiciones de caudal que no son controladas por la propia actividad, es válido suponer que no existe una preferencia como tal por parte de los usuarios a nivel recreativo, sino que más bien, la actividad está supeditada a la disponibilidad de tiempo de los usuarios, condiciones climáticas y a que se cumplan condiciones mínimas o aceptables de caudal para su realización. Particularmente, en otoño/invierno, la condición de caudales aceptables es acotada, ya que el hidrograma presenta un comportamiento de bajos caudales.

Esta condición también puede ser válida para verano, sin embargo, el rango de caudales es más amplio y con caudales de mayor magnitud. Además, las condiciones climáticas son más favorables en primavera/verano y eventualmente la disponibilidad de tiempo es mayor por parte de los usuarios. La suma de estas condiciones genera que mayor cantidad de usuarios

realicen la actividad en esta época del año, generando curvas de preferencia de uso más planas y con una alta preferencia en un rango mayor de caudales.

La existencia de condiciones más favorables para rafting en primavera/verano se evidencia por la mayor cantidad de usuarios. En esta época la cantidad registrada fue de 24902 asistentes en los 4 años de observación, mientras que en otoño/invierno fue de 6806 asistentes.

De acuerdo a lo obtenido a partir de la revisión bibliográfica de caudales para el uso de actividades recreativas como el rafting, es complejo establecer parámetros según lo observado en la bibliografía, por cuanto, los modelos se construyen teniendo en consideración ríos que no necesariamente son semejantes a las características hidrográficas del río Maipo. Por lo tanto, se debe tener cautela en la utilización de los caudales restrictivos resultantes de esta modelación.

Los caudales máximos y mínimos determinados a partir de la revisión bibliográfica, se conciben con la preferencia de uso de los usuarios de rafting, ya que para el caudal mínimo (20.8 m³/s) presenta preferencias muy bajas en la totalidad de las curvas generadas. En el caso del caudal máximo (225 m³/s), la preferencia es nula para la totalidad de las curvas generadas.

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 4-10, se puede deducir que la preferencia de uso anual bajo el escenario sin PHAM, evidenció que ante una serie histórica de caudales, sobre el 83% de los días presentaría una preferencia por sobre 0.6, lo cual disminuye sólo en un 9% bajo la condición con PHAM.

Análogamente, de la Tabla 4-11 se puede colegir que en el caso de la época primavera/verano, las preferencias más elevadas (por sobre 0.6) ocurrirían en un 72% de los días que componen la serie histórica, y disminuyendo sólo en un 5% para la condición con PHAM.

Y finalmente de la Tabla 4-12 en la época de otoño/invierno, las mayores preferencias representan sólo un 51% de los días registrados en la serie histórica, disminuyendo en un 21% respecto de la condición con PHAM.

Al tomar el escenario sin PHAM como condición base y analizar cómo varía la cantidad de días para una mismo rango de frecuencia bajo el escenario con PHAM para las tres condiciones: anual, primavera/verano y otoño/invierno (Tabla 4-10, Tabla 4-11 y Tabla 4-12, respectivamente), es posible deducir que la variación en la cantidad de días con elevada preferencia es menor a nivel anual y primavera/verano, con valores menores o iguales al 10%. En otoño/invierno en cambio, la variación es mayor, igual al 21%.

Estas diferencias se producen por dos razones: La primera es que en verano, si bien la extracción del caudal para la central Alfalfal II es de importancia, el caudal remanente en el río Maipo sigue presentándose en el rango de preferencias elevadas, debido a la forma tipo meseta de la curva de preferencia de uso. La segunda razón es que, a pesar de que la curva de preferencia de uso para otoño/invierno presenta una forma de campana estrecha, la extracción de agua para Alfalfal II es considerablemente menor y por lo tanto, el caudal

remanente en el río Maipo sigue estando dentro del rango de caudales con altas preferencias.

De las tres situaciones temporales, el análisis anual y primavera/verano no evidencian alteraciones o disminuciones significativas en la preferencia de realización de rafting, ni tampoco en las condiciones mínimas para su realización.

En la situación otoño/invierno, las alteraciones asociada a las preferencias más altas son mayores que las dos situaciones temporales anteriores, sin embargo, en tales circunstancias tampoco se afectarían las condiciones mínimas para la realización de la actividad recreativa.

Recordar que se considera como una condición mínima a caudales mayores a $26 \text{ m}^3/\text{s}$ y menores a $225 \text{ m}^3/\text{s}$ y que estos caudales están asociados a preferencias comprendidas entre 0-0.1. Bajo este concepto, para la situación anual, la frecuencia de días con preferencias mayores a 0.1 fue de un 92% para el escenario sin PHAM, la cual varió a un 90% para el escenario con PHAM. Esto se traduce en que el 90% de los días analizados con PHAM presentan condiciones mínimas para la realización de rafting, variando sólo en un 2% con respecto a la situación base. Realizando este mismo análisis para primavera/verano, el 85% de los días presentan condiciones mínimas de caudal para la realización del rafting en el escenario actual, el cual aumenta en un 2% bajo el escenario futuro con PHAM. Este aumento de días con condiciones mínimas se debe a que los caudales mayores al máximo aceptado para la realización de rafting disminuyen por efecto del PHAM, generando condiciones más preferentes para su realización. Para otoño/invierno, el 98% de los días presenta condiciones mínimas en escenario sin PHAM, las cuales varían a un 89% para el escenario con PHAM.

A pesar de las bajas alteraciones en las preferencias de caudales para la realización de rafting, es necesario recordar que la hidrología utilizada para la generación de ambos escenarios es aquella que fue generada para el tramo del río Maipo aguas abajo de la confluencia del río Yeso. Este tramo se ubica al comienzo de las rutas de realización de rafting definida por los operarios, por lo que considera una condición hidrológica más conservadora para la evaluación de frecuencia de rangos de preferencia, que el haber utilizado, por ejemplo, la hidrología del río Maipo asociada a la sección de término de la ruta del rafting, puesto que el tramo aguas abajo del río Yeso no considera aportes hidrológicos provenientes de quebradas laterales a lo largo de todo el tramo de río en estudio. En otras palabras, para el caso implementado, las alteraciones calculadas en el régimen hidrológico del río Maipo producto de la operación de la central Alfalfal II resultan ser mayores y por ende también su efecto sobre la frecuencia de preferencias, pero en un caso menos conservador como sería considerar la hidrología del tramo más aguas abajo del área de estudio, la alteración sobre de la hidrología producto de la central Alfalfal II sería menor y por ende también la alteración sobre las preferencias de uso.

Finalmente, se deben hacer presente las siguientes consideraciones con el objeto de tenerlas en cuenta al momento de evaluar las conclusiones.

En primer lugar, si bien se generaron curvas de preferencia de uso considerando una gran cantidad de información, lo cual entrega curvas robustas estadísticamente, las observaciones se refirieron exclusivamente a observar cantidad de usuarios de las balsas de

rafting lo cual permitió asociarlos a aquellos caudales circulantes en el río Maipo y aquellos días cuando se realiza la actividad. Sin embargo, no se observaron días que no se hayan realizado rafting, para poder asociarlo con condiciones climáticas o hidrológicas en las cuales no se haya realizado la actividad. Por lo tanto, estas curvas solo capturar la preferencia de uso de rafting, pero no la preferencia de “no uso”.

Con respecto al caudal mínimo y máximo para la realización del rafting, éstos se obtuvieron mediante una transformación de los umbrales de velocidad y profundidad recopilados de la literatura nacional e internacional especializada. Por lo tanto, es aconsejable mantener estos caudales como una aproximación, la cual debiera ajustarse para el río Maipo en particular.

Finalmente, es necesario tener en cuenta que los escenarios fueron construidos a partir de información histórica reconstituida. Si bien, no se discute la validez de dicha reconstitución, es importante resaltar el punto para una futura actualización si PHAM lo considerara necesario.

6 CONCLUSIONES

A través de curvas de uso anuales, para otoño/invierno y para primavera/verano, fue posible definir la preferencia de uso del rafting ante una serie histórica definida como el escenario sin PHAM (situación actual). De forma análoga, se utilizó una serie histórica hipotética definida como el escenario con PHAM (situación futura con el proyecto hidroeléctrico operando). Al evaluar el cambio en la cantidad de días para una misma frecuencia de ambas series hidrológicas, es decir, al comparar la variación de cantidad de días con alta preferencia entre ambos escenarios, con y sin PHAM, los resultados indican que no existen grandes diferencias en términos generales, tanto para el caso anual o como para el análisis por época del año, manteniendo similares porcentajes de preferencia en ambos escenarios.

Cuando se comparó la variación de cantidad de días para un mismo rango de preferencia, las variaciones en el escenario con PHAM respecto al escenario sin PHAM, la disminución de cantidad de días para preferencias altas es menor o igual al 10% para el análisis anual. En primavera/verano, se mantienen condiciones mínimas y de elevada preferencia. En invierno, se mantienen condiciones mínimas, pero las preferencias altas disminuyen en mayor medida (21%).

En resumen, se aprecia que la operación del proyecto hidroeléctrico Alto Maipo mantiene, no sólo condiciones mínimas para la realización de rafting en invierno y en verano, sino que en esta última época mantiene en gran medida condiciones hidráulicas con altas preferencias demandadas por los propios usuarios.

En función de lo anterior, y con el objeto de confirmar en el tiempo las conclusiones del presente informe, se sugiere mantener seguimiento de los caudales que se registran en las diferentes estaciones fluviométricas pertenecientes a la red hidrométrica de la Dirección General de Aguas que operan y operarán en el área de influencia del PHAM.

7 BIBLIOGRAFÍA

- APRISA 2015. Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo. Estudio sedimentológico avanzado. Desarrollado para AES Gener. Informe técnico
- CEA. 2013. Informe Final revisión del caudal ecológico del proyecto hidroeléctrico Alto Maipo. Desarrollado para AES Gener. Informe Técnico. 267 pp.
- Bovee KD, Lamb BL, Bartholow JM, Stalnaker CB, Taylor J. 1998. *Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology*. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division Information and Technology Report.
- Chambers JM, Freeny A, Heiberger RM. 1992. Analysis of variance; designed experiments. *Statistical models in S*:145–193.
- Hyra, R. (1978). Methods of assessin instream flow for recreation. Government Reports, Announcements and Index, National Technical Information Service (NTIS), US Department of Commerce.
- Johnson NL, Kotz S, Balakrishnan N. 1994. Continuous univariate distributios.
- Legendre P, Legendre L. 1998. *Numerical ecology*. Elsevier.
- Mosley, M. P. (1983). Flow requirements for recreation and wildlife in New Zealand rivers. *Journal of hydrology (N.Z)*, 22 (2), 152-173.
- Peterson RA. 2018. bestNormalize: Normalizing Transformation Functions, R package version 1.2. 0.
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2014.
- Rana MS, Midi H, Imon A. 2009. A robust rescaled moment test for normality in regression. *Journal of Mathematics and Statistics* 5:54–62.
- Servicio Evaluación Impacto Ambiental. (2016). Guía metodológica para determinar el caudal ambiental para centrales hidroeléctricas en el SEIA. Santiago-Chile.
- Venables WN, Ripley BD. 2002. *Modern Applied Statistics with S*. New York, NY: Springer New York.
- Yandell B. 2017. *Practical data analysis for designed experiments*. Routledge.



Soluciones I+D+i
EcoHyd
Plataforma de Investigación en
Ecohidrología y Ecohidráulica

EVALUACIÓN IDONEIDAD DE REALIZACIÓN DE RAFTING EN RÍO MAIPO

Anexo A

ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS PARA LA DETERMINACION DE UMBRALES HIDRODINÁMICOS PARA LA REALIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD RECREATIVA RAFTING

Marzo 2020

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVO	1
3	METODOLOGÍA	1
4	RESULTADOS	3
4.1	ESTUDIOS NACIONALES.....	3
4.1.1	UMBRALES HIDRODINÁMICOS	3
4.1.2	RANGOS DE PREFERENCIA HIDROLÓGICA	6
4.2	ESTUDIOS INTERNACIONALES	6
5	CONCLUSIONES	9
6	BIBLIOGRAFÍA.....	10

1 INTRODUCCIÓN

Por medio de la recopilación de información secundaria, se busca identificar los principales modelos descriptivos que permitan entregar una orientación con respecto a los umbrales hidrodinámicos para la realización de la actividad deportiva de rafting. El análisis de la información, considera dos perspectivas, se inicia con la descripción de un análisis llevado a cabo en el río Ñuble, el cual busca determinar el caudal ambiental del río, para lo cual considera aspecto morfológico y de uso antrópico como es el kayak y el rafting.

En tanto desde la perspectiva internacional se consideran las variables planteadas por cuatro grupos de investigadores, quienes plantean diversos enfoques a considerar en el proceso de análisis a considerar umbrales para el desarrollo de actividades recreativas. En el caso de Hyar (1978), propone criterios de profundidad y velocidades máximas y mínimas para el desarrollo de actividades recreativas. Mosley (1983) a través de un enfoque centrado en la protección de la vida silvestre, considerar los parámetros de profundidad y velocidad y anchos de flujos para el desarrollo de actividades acuáticas recreativas. En tanto Shelby et al (1992), plantea una relación entre los flujos de agua disponible y la calidad de la actividad recreativa a desarrollar y Whittaker & Sheby (2002) sostiene un método para relacionar la calidad entre el flujo y el desarrollo de actividades recreativas, las curvas se desarrollan a partir de la utilización de diversos métodos.

2 OBJETIVO

Revisar información internacional y otra disponible que permita establecer los umbrales hidrodinámicos para la realización de la actividad del rafting.

3 METODOLOGÍA

Se realizó una revisión de antecedentes bibliográficos orientada a la determinación de umbrales máximos y mínimos para la realización de rafting. La búsqueda se orientó principalmente en la determinación de caudales, velocidades, profundidades, esfuerzo de corte, número de Reynolds, número de Froude o cualquier otro parámetro hidráulico que permita la definición de un caudal mínimo o máximo a considerar para la realización de rafting.

Los documentos recopilados y analizados fueron: (listado de los documentos revisados)

- a) Aqua Terra ingenieros Limitada. (2010). Análisis de metodología y determinación de caudales de reserva turística. Informe Final.

- b) Mayo Rustarazo, M. (2000) Determinación de regímenes de caudales ecológicos mínimos. Adaptación de método IFIM-PHABSIM y aplicación a los ríos españoles. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.
- c) Walsh, R. G., Ericson, R.K., Arosteguy, D.J., & Hansen, M.P. (1980). An empirical application of model for estimating the recreation value of instream flow. Colorado Water Resources Research Institute, Colorado State University.
- d) Rood, S.B., Chris, G., Bobbi, G., & Tymensen, W. (2006). Instream flows for recreation are closely correlated with mean discharge for rivers of western north america. *River research and applications*, 22, 91-108.
- e) Wittaker, D., Shelby, B., & Gangeni, J., (october, 2005). Flows and recreation a guide to studies for river professionals.
- f) Recreation water user study- Draf. Alto Maipo Hydropower Project. www.erm.com
- g) Rivers at risk: the status of environmental flows in Canada. wwf.Canadá.
- h) Hyra, R. (1978). *Methods of assessin instream flow for recreation. Government Reports, Announcements and Index, National Technical Information Service (NTIS), US Department of Commerce.*
- i) Ministerio de Medio Ambiente. (2012). *Reglamento para determinación del caudal ecológico mínimo. Decreto 14.* Santiago-Chile : Gobierno de Chile .
- j) Mosley, M. P. (1983). Flow requirements for recreation and wildlife in New Zealand rivers. *Journal of hydrology (N.Z)*, 22 (2), 152-173.
- k) Servicio Evaluación Impacto Ambiental. (2016). *Guía metodológica para determinar el caudal ambiental para centrales hidroeléctricas en el SEIA.* Santiago-Chile.
- l) Shelby, B., Brown, T., & Taylor, J. (1992). Streamflow and recreation. *Us Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station .*
- m) Toledo , S., & Muñoz , E. (2018). Determinación de un régimen de caudal ambiental para el río Ñuble considerando actividades recreacionales y requerimientos de hábitat de peces . *Obras y Proyectos* , 71-81.
- n) Whittaker, D., & B. Shelby . (2002). Evaluating instream flows for recreation: Applying the structural norm approach. *Leisure Sciencies*, 24, 363-374.

4 RESULTADOS

4.1 Estudios nacionales

4.1.1 Umbrales hidrodinámicos

A partir del análisis de la información descrita por Toledo y Muñoz (2018), quienes, a partir de un moldeo hidráulico, realizan el cálculo del régimen del caudal ambiental sobre el río Ñuble, el análisis se construye a partir de los lineamientos establecidos en el 2006 por Servicio de Evaluación Ambiental. Donde se consideran los componentes ambientales y antrópicos (actividades recreacionales), mediante el software CASIMIR, utilizando información publicada en el SEA y entrevistas realizadas a usuarios del río.

Parte de los resultados obtenidos por Toledo y Muñoz (2018), sostienen que al seguir las recomendaciones del SEA (2016) las actividades recreacionales tradicionalmente realizadas en el río se verán alteradas. Por otra parte, si se “incluye y cuantificar la necesidad de caudales para el turismo, el caudal ambiental en verano debe ser superior al caudal estimado considerando sólo regulaciones de carácter hidrológico y de funcionalidad de la fauna íctica presente en el río” (Toledo & Muñoz , 2018)

Al considerar el caudal ecológico, como el 20% del caudal medio mensual, con límite máximo en el 20% del caudal medio anual y una estadística de 25 años como mínimo (MMA, 2012), se busca proteger los valores ecológicos de los ríos, como la flora y fauna. Sin embargo, en muchos casos, el caudal ecológico corresponde sólo al caudal mínimo que puede mantenerse en un cauce para asegurar la permanencia de estos valores. En aquellos ríos donde existe un uso antrópico, las alteraciones a los caudales pueden generar un impacto directo sobre dichas actividades. Al considerar las actividades in situ de uso sin contacto directo, se encuentra rafting.

De acuerdo a lo planteado para el proyecto del río Ñuble, las profundidades y caudales mayores a 160 m³/s dificultarían la práctica de kayak y rafting por parte de personas inexpertas, pasando a ser una actividad riesgosa. Por otra parte, caudales inferiores a 80 m³/s imposibilita el desarrollo de estas actividades ya que los kayaks y balsas chocarían con el lecho del cauce (Toledo & Muñoz , 2018).

Tabla 4-1 Principales resultados del caudal ambiental sobre la realización de rafting en el río Ñuble

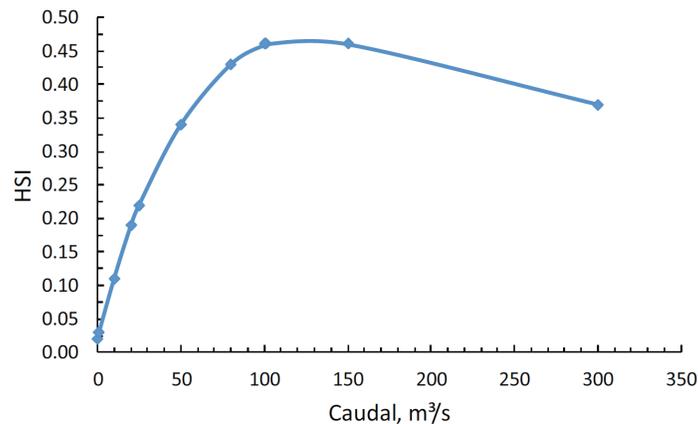
	Caudal (m ³ /s)	Profundidad (m)	Velocidad, (m/s)
Más idóneo	80-160	0,5 – 1,5	1
Menos idóneo	<80 y >160	<0,5 y >2	>5

Fuente: Toledo & Muñoz (2018)

El modelo hidráulico de Toledo y Muñoz (2018), se construyó a partir de una caracterización topográfica del río, donde se consideraron secciones transversales cada 10 metros (aprox.), se utiliza el modelo hidráulico HEC-RAS, para evitar considerar al río como multicauce, se calculó el eje hidráulico para caudales de 0,5, 1, 10, 20.2, 50, 80, 100, 101.1, 150 y 300 m³/s.

Se plantea como condición de borde una profundidad crítica debido a los constantes cambios de régimen de subcrítico a supercrítico y viceversa asociados a la configuración pozón-rápido del río. Como resultado se obtuvo la profundidad de flujo, la elevación de superficie de agua y velocidad media para cada perfil transversal asociado a cada caudal de la modelación” (Toledo & Muñoz , 2018). Finalmente, se determinó el Hábitat Suitability Index (HSI) para la idoneidad de realización de rafting en todo el tramo de río analizado.

Figura 4-1 Hábitat Suitability Index (HSI) para rafting y kayak considerando los diferentes caudales modelados sin embargo superan el caudal medio mensual para el tramo de estudio en los meses de enero y febrero (~53 m³/s).

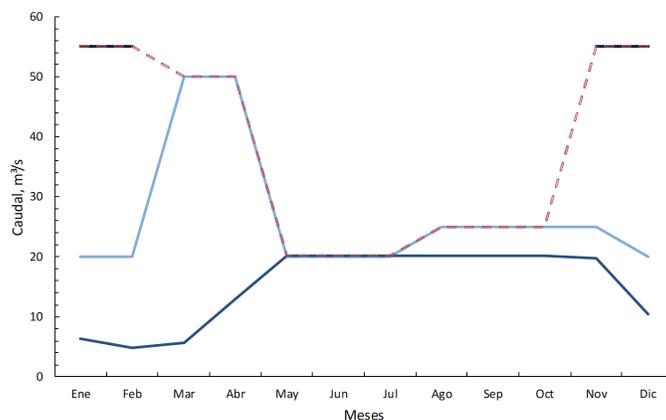


Fuente: Toledo & Muñoz (2018)

Los resultados obtenidos señalan que los caudales ambientales inferiores a 50 m³/s dificultan el desarrollo de actividades antrópicas debido a la disminución de alturas de agua. Aquellas profundidades menores a 0,5 m impiden el desarrollo adecuado de rafting y kayak, ya que probablemente se formarán islas interrumpiendo la conectividad longitudinal del río, “para efectos de proponer un caudal adecuado para esta actividad se define un caudal de 50 m³/s, el cual representa un valor promedio para los meses de enero y febrero, y tiene asociado un índice de idoneidad de 0,35. Si bien este caudal cumple con los requisitos hidráulicos de velocidad, y profundidad sugeridos por SEA (2016), sólo el 35% de la superficie utilizada por el río en enero y febrero sería potencialmente útil para las actividades antrópicas. Cabe mencionar que en el caso de actividades antrópicas sólo se consideraron los meses en que estas se desarrollan de manera comercial y por turismo. Los resultados muestran que una disminución de los caudales en dichos meses tendría un

impacto sobre el HSI, con un impacto prácticamente proporcional a la reducción de caudales por debajo de 50 m³/s.” (Toledo & Muñoz , 2018)

Figura 4-2 Régimen de caudal ambiental obtenido como el envolvente de los caudales calculados de acuerdo a modelo hidrobiológico e hidrológico. La línea segmentada roja muestra el caudal ambiental obtenido del cruce de información de caudal ecológico (línea azul), caudal hidrobiológico (línea celeste) y caudal para usos antrópicos (línea azul marino)



Fuente: Toledo & Muñoz (2018)

Toledo y Muñoz (2018), señalan que las profundidades mínimas de 0,2 y 0,1 m y una velocidad máxima de 4,5 m/s son condiciones extremas para la realización de las actividades kayak y rafting. Sin embargo, al comparar los datos del modelo hidráulico y con información entregada por SEA (2016), sostienen que la práctica de rafting y kayak es inviable en el río Ñuble, ya que este en general presenta profundidades de 20 cm o inferior, lo cual no permitiría la navegación de una balsa y tampoco permiten remar.

La Guía de Caudal Ambiental de Chile (SEA, 2016) fija criterios básicos para la determinación del caudal ambiental considerando distintos aspectos, como hidrológicas, ecológicas, sociales, entre otras, de manera particular aborda la inclusión explícita de actividades recreativas in situ, incorporando criterios internacionales para la realización de diversas actividades recreativas que utilizan embarcaciones.

Tabla 4-2 Criterios hidrodinámicos para la realización de rafting

Actividad	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Bibliografía
Rafting/ Kayayk/ Canoas	Pmin: 0,1-0,2 ^A	Vmáx: 4,5	A: Gordon y col.m(2004) B: Rood y Tymensen (2001) C: Rood y col. (2003) D: Mosley (1983)
	Pmin: 0,6 ^{B,C}		
	Pmin: 0,2 ^D		

Fuente: SEA (2016)

4.1.2 Rangos de preferencia hidrológica

Durante el 2017, el Municipio de San José de Maipo aprobó la Ordenanza de Turismo y Patentes Comerciales, Decreto No. 602 y desarrolló reglamentos de implementación (Reglamento Implementación de Ordenanza de Turismo, San José de Maipo, 17-ene. 2017). El Artículo 10 del reglamento define los flujos superiores a 100 cm en el segmento de San Alfonso como Clase IV, y los rangos de preferencia hidrológica superiores a 150 cm en el segmento Melocotón como Clase IV. La navegación está prohibida para rangos superiores a 150 cms en el segmento de San Alfonso y para flujos superiores a 250 cms en el segmento de Melocotón. La Tabla 3-6 resume las regulaciones.

Tabla 4-3 reglamentación y prohibición de navegación en el municipio de san jose de maipo.

Flujo de metros cúbicos por Segundo (cms)	Segmento 1: San Alfonso – Melocotón	Segmento 2: Melocotón – San José
Up to 100 cms	Clase III	Clase III
100 – 150 cms	Clase IV	Clase III
150 – 200 cms	No se permite navegar	Clase IV
200 – 250 cms	No se permite navegar	Clase IV
Over 250 cms	No se permite navegar	No se permite navegar

Fuente: San José de Maipo Ordenanza Regulatoria de Turismo. Artículo 10.

4.2 Estudios internacionales

Se considero la perspectiva de cuatros autores, lo que nos otorga una variedad de propuestas con respecto a los variables hidrodinámicas y los factores que cada uno valora como relevante, en el desarrollo de actividades recreativas.

Hyar (1978), desarrolla un método que considera el uso de actividades recreativas, donde las agencias, encargadas de administrar el recurso agua, puedan considerar las variables hidrodinámicas (máximas, mínimas y óptimas), para un óptimo desarrollo de la actividad. Tal como se observa en la tabla 4-7, las condiciones mínimas necesarias para el desarrollo de la actividad de rafting.

Tabla 4-4 Requerimientos hídricos: Profundidad (H) [m] Velocidad (V) [m/s]

Actividad		Mínimo	Máximo	Óptimo
Rafting	H	0,6	Sin límite	1
	V	0	4,5	0,3-3

Fuente: Hyar (1978)

Por otra parte, Mosley (1983), establece categorías de análisis para ríos pertenecientes a Nueva Zelanda, donde propone los parámetros; profundidades, velocidades y anchos de flujos mínimos, máximos y preferidos para actividades recreativas con y sin contacto en agua, esto se ve reflejado en la tabla 4-8.

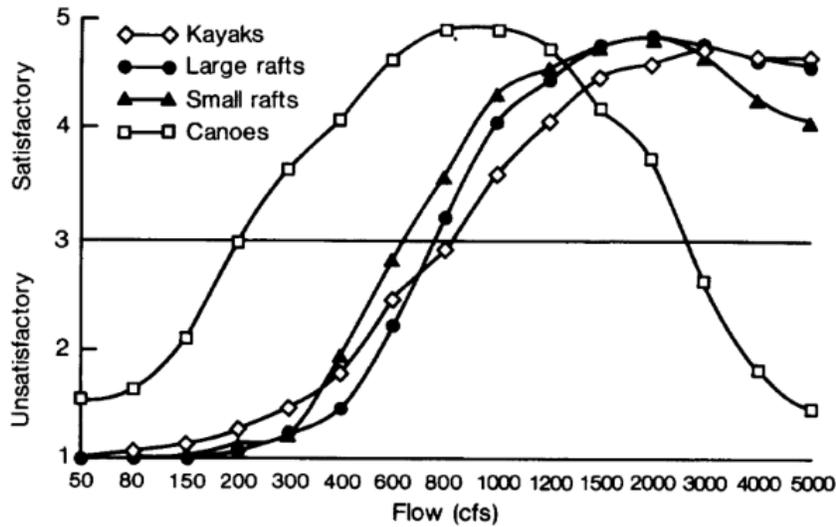
Tabla 4-5 Requerimientos hídricos: Ancho superficial (W) Profundidad (H) [m], Profundidad (H) [m], Velocidad (V) [m/s]

Actividad		Mínimo	Máximo	Óptimo
Rafting/ canoas (Aguas blancas)	W	7,5		>20
	H	0,2	1,2	0,8-1,5
	V		4,5	1,0 – 3,0

Fuente: Mosley (1983)

Shelby et al. (1992) obtienen la relación entre la calidad de ciertas actividades recreativas como kayak, rafting y canoa en función del flujo disponible en el río Dolores, usando el método de encuestas a usuarios expertos. El gráfico 3 muestra las condiciones mínimas para realizar las actividades recreativas están representadas por el nivel número 3 en el cual se cruza límite entre lo considerado como un caudal satisfactorio para practicar la actividad y uno no satisfactorio.

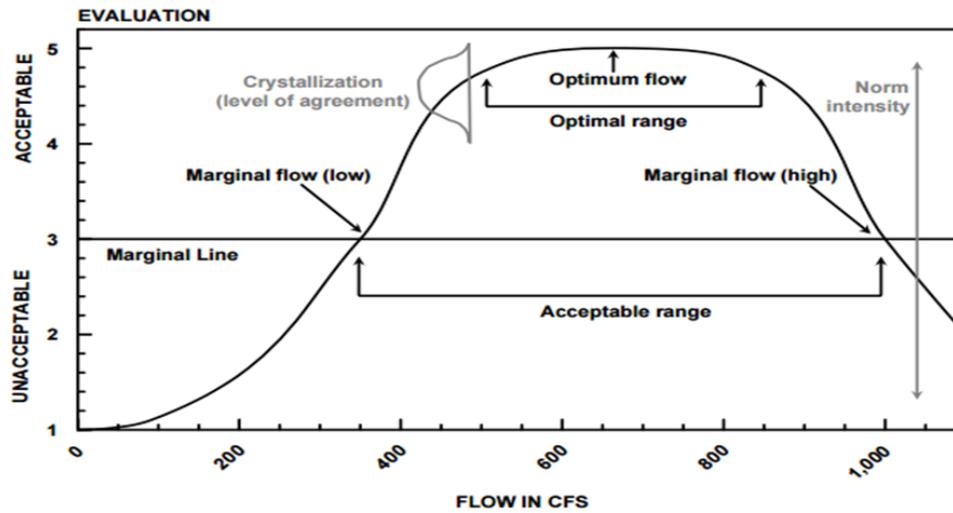
Figura 4-3 Condiciones mínimas de caudal (cfs) para la realización de actividades recreativas de embarcación



Fuente Shelby et al. (1992)

Whittaker & Sheby (2002) proponen un método para relacionar la calidad entre el flujo y el desarrollo de actividades recreativas, las curvas se desarrollan a partir de la utilización de diversos métodos, las que se construyen a partir de las evaluaciones realizadas por los usuarios de actividades y se relacionan las acciones con rangos específicos de caudal (Figura 4-8). En la construcción del parámetro consideran los juicios a expertos y encuestas aplicadas directamente a usuarios. Las limitaciones del método se encuentran en que los usuarios no necesariamente conocen el caudal que experimentaron, por tanto, no necesariamente son sensibles a los cambios de flujo afectan la actividad recreativa, pueden responder estratégicamente y que las preferencias de las personas varían.

Figura 4-4 Situación hipotética de la calidad de la recreación en función de la cantidad de flujo



Fuente: Whittaker & Shelby (2002)

5 CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica permitió identificar umbrales en profundidad y velocidad del flujo para la realización de rafting. En términos generales, se aprecia que la información es escasa y desarrollada hace más de 30 años.

La revisión de cada una de ellas permite discutir que no existe un consenso sobre las condiciones mínimas de velocidad y de profundidad. La diferencia entre los autores puede deberse a las particularidades hidromorfológicas de cada río en las cuales fueron medidas.

En términos generales, se muestra un resumen de las condiciones hidrodinámicas más referenciadas en literatura especializada como condición mínima y máxima para la realización de rafting.

Tabla 5-1 Condiciones hidrodinámicas mínimas y máximas para la realización de la actividad recreativa rafting

Variable	Mínima	Máxima	Bibliografía
Profundidad (m)	0,2-0,6		Gordon et al. (2004)*; Rood & Tymensen (2001)*, Rood et al.(2003)*;
Velocidad (m/s)	0-1	4,5	Hyar (1978); Mosley (1983)

(*) tomadas de SEA (2016)

6 BIBLIOGRAFÍA

- Hyra, R. (1978). *Methods of assessin instream flow for recreation. Government Reports, Announcements and Index, National Technical Information Service (NTIS), US Department of Commerce.*
- Ministerio de Medio Ambiente. (2012). *Reglamento para determinación del caudal ecológico mínimo. Decreto 14.* Santiago-Chile : Gobierno de Chile .
- Mosley, M. P. (1983). Flow requirements for recreation and wildlife in New Zealand rivers. *Journal of hydrology (N.Z)*, 22 (2), 152-173.
- Servicio Evaluación Impacto Ambiental. (2016). *Guía metodológica para determinar el caudal ambiental para centrales hidroeléctricas en el SEIA.* Santiago-Chile.
- Shelby, B., Brown, T., & Taylor, J. (1992). Streamflow and recreation. *Us Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station .*
- Toledo , S., & Muñoz , E. (2018). Determinación de un régimen de caudal ambiental para el río Ñuble considerando actividades recreacionales y requerimientos de hábitat de peces . *Obras y Proyectos , 71-81.*
- Whittaker, D., & B. Shelby . (2002). Evaluating instream flows for recreation: Applying the structural norm approach. *Leisure Sciencies, 24*, 363-374.