

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XXV CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

**ANÁLISIS DE LA INTERFERENCIA A NIVEL OPERACIONAL ENTRE LA
HIDROELECTRICIDAD Y LA CONSERVACIÓN DEL ECOSISTEMA FLUVIAL EN
LA CUENCA DEL RÍO BIOBÍO**

MATÍAS CONTRERAS G.¹
MARCELO OLIVARES A.²
MATÍAS PEREDO P.³

RESUMEN

Para analizar el conflicto entre hidroelectricidad y conservación del ecosistema fluvial en la cuenca del río Biobío, en el presente trabajo se estudia el efecto que tiene la operación de las centrales hidroeléctricas Ralco, Pangué y Angostura sobre el ecosistema fluvial adoptando un enfoque de alteración hidrológica, a través de la cuantificación de los índices de alteración hidrológica (IHA), y el análisis de rango de variabilidad (RVA) de estos mismos. Para ello, se recopilan y procesan series de caudales naturalizados y post operación de las centrales, con el fin de comparar los índices hidrológicos calculados en ambos periodos. Adicionalmente, se cuantifica el grado de alteración hidrológica a escala intradiaria debido a la operación en punta de las centrales (*hydropeaking*), a partir de los datos del coordinador eléctrico nacional y estaciones fluviométricas.

Los resultados obtenidos muestran que la operación de las centrales Ralco y Pangué alteró de forma importante el régimen natural de caudales en la parte alta del río Biobío en el periodo 2004 - 2020, exhibiendo importantes variaciones de los IHA para el régimen natural e intervenido, lo cual evidencia cambios en el régimen hidrológico de la zona. Por otro lado, la operación en punta de las centrales produce una considerable alteración respecto a las fluctuaciones intradiarias del régimen natural. La central que produce un mayor grado de alteración intradiaria producto de su operación en punta, corresponde a la central Ralco, cuyos efectos se ven acentuados en la temporada húmeda del año (abril - septiembre). La central Pangué por su parte también exhibe un alza en los niveles de alteración hidrológica producto de su operación, en los meses húmedos del año, pero en menor magnitud que Ralco. Por último, la central Angostura, corresponde a la generadora que menos altera el régimen hidrológico a una escala intradiaria, y al contrario de las otras centrales, los niveles de alteración producto de su operación se ven acrecentados en los meses secos (octubre - marzo).

¹ Estudiante de Magister, Depto. de Ingeniería Civil, FCFM, Universidad de Chile – matias.contreras.g@ug.uchile.cl

² Profesor Asistente, Depto. de Ingeniería Civil, FCFM, Universidad de Chile – maroliva@uchile.cl

³ Plataforma de Investigación en Ecohidrología y Ecohidráulica, EcoHyd – matias.peredo@ecohyd.com

1. INTRODUCCIÓN

Todo sistema eléctrico requiere contar con centrales que sean capaces de responder rápidamente a los momentos en donde se registran fluctuaciones, tanto asociadas a la variabilidad de la demanda como a la naturaleza fluctuante de fuentes de energía como sol y viento. La alternativa más práctica y económica para solventar esta necesidad corresponde a la hidroelectricidad, ya que dada su estructura de generación le permite cambiar de manera rápida la cantidad de energía que generan. Este esquema de operación, denominado *hydropeaking*, puede ocasionar fuertes fluctuaciones de caudal aguas abajo del punto de restitución, las cuales son bruscas, impredecibles y repetitivas. Estos cambios de caudal debido al *hydropeaking* ocasionan alteración en los ecosistemas, como está ampliamente documentado en la literatura, tanto en Chile como en el resto del mundo.

El presente trabajo tiene por objetivo identificar y cuantificar la alteración hidrológica producto de la operación de las centrales hidroeléctricas Ralco, Pangué y Angostura, en el río Biobío, a escala interdiaria e intradiaria. Además, se pretende sentar las bases para identificar posibles esquemas de operación que consideren el objetivo de conservación de la fauna íctica.

La cuenca del río Biobío cuenta con una importante capacidad instalada de hidroelectricidad de embalse, además de ser considerada como un punto de alta concentración de biodiversidad endémica (Villagrán & Hinojosa, 1997). La cuenca del Biobío forma parte de la VIII Región y está comprendida entre los paralelos 36°42' - 38°49' Latitud Sur y los meridianos 71° - 73°20' Longitud Oeste (ver: Figura 1). Es una de las cuencas de mayor superficie (24.264 Km²) y caudal del país. Dada la relevancia de la cuenca del río Biobío, existen diversos estudios sobre los efectos de las actividades antrópicas en la cuenca del río Biobío sobre la fauna íctica y se enfatiza en la importancia del impacto del desarrollo hidroeléctrico en la cuenca ((Díaz et al., 2019; García et al., 2011, 2015; Habit et al., 2007)

El análisis en primera instancia se enfocó en cuantificar la alteración hidrológica generada por la construcción y operación de las centrales hidroeléctricas Pangué (1996) Ralco (2004) y Angostura (2014) en la zona de interés (ver Tabla 1), la cual fue comparada con la alteración hidrológica del régimen natural, el cual se consideró que favorece la conservación de la fauna íctica. Para llevar a cabo lo anterior, existen distintas metodologías como la presentada en Jowett (1997). En el presente trabajo se emplea el enfoque de alteración hidrológica, el cual a través de los índices de alteración hidrológica, IHA por sus siglas en inglés (Richter et al., 1996) y el rango de variabilidad de estos, RVA por sus siglas en inglés (RICHTER et al., 1997) permiten cuantificar el cambio en el régimen hidrológico producto de la operación de las centrales analizadas. Adicionalmente, se cuantifica el grado de alteración hidrológica intradiaria debido a la operación en punta de las centrales (*hydropeaking*), determinando las métricas usadas para evaluar las fluctuaciones intradiarias de caudal, a partir de los datos del coordinador eléctrico nacional y las estaciones fluviométricas seleccionadas (ver: Tabla 2) (Zimmerman et al., 2010).

CUENCA DEL RÍO BIOBIO
Delimitación del Área de Estudio Según Aster DEM y SRTM
Región del Biobío - Chile

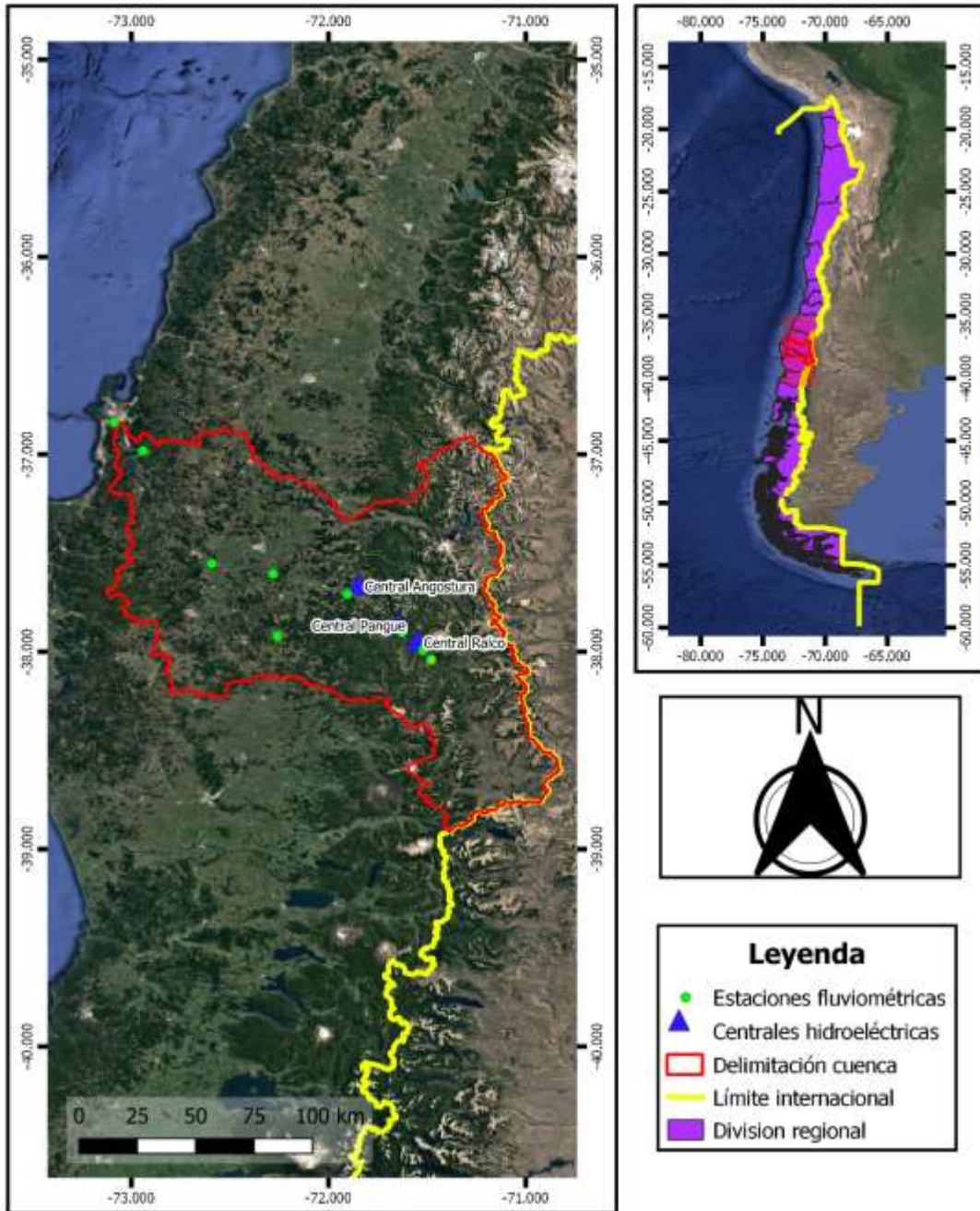


Figura 1: Cuenca del río Biobío, centrales hidroeléctricas Angostura, Pangué, Ralco y estaciones fluviométricas.

Tabla 1: Características centrales hidroeléctricas ubicadas en la zona de estudio.

Central Hidroeléctrica	Ubicación Norte – Este (UTM)	Potencia Máxima (MW)	Turbinas	Inicio operación
Angostura	5.822.312 – 251.705	323,8	3 Francis	2014
Pangue	5.800.863 – 270.454	467	2 Francis	1996
Ralco	5.791.377 – 278.937	690	2 Francis	2004

Tabla 2: Estaciones fluviométricas seleccionadas para el análisis de los caudales naturales.

Estación	UTM Este	UTM Norte	Fecha inicio
Río Biobío en Rucalhue	244.156	5.822.433	01/08/1985
Río Biobío antes junta Pangue	269.071	5.801.713	01/10/2002
Río Biobío antes junta Huirí Huirí	278.593	5.791.985	01/09/2002
Río Biobío em Llanquén	298.494	5.769.032	01/09/2002

2. METODOLOGÍA

Escala interdiaria

En primera instancia, se recopilaron los registros fluviométricos diarios desde las estaciones fluviométricas ubicadas aguas abajo de cada central, además se consideraron los registros de la estación Río Biobío en Llanquén, que se emplaza aguas arriba de la central Ralco, por lo tanto, su medición no se ve afectada por la operación de las hidroeléctricas. Una vez efectuado el preprocesamiento de la información, se procedió a naturalizar las series de caudal de cada estación fluviométrica. Para encontrar el régimen natural asociado a la estación Río Biobío antes junta Huirí Huirí, se realizó una correlación lineal entre los registros que esta posee previos a la operación de la central Ralco y la estación Río Biobío en Llanquén, y luego se extrapola usando la información de Río Biobío en Llanquén y la correlación encontrada. Para el caso de Río Biobío antes junta Pangue se realizó una transposición de caudales desde la estación Río Biobío antes Junta Huirí Huirí. Finalmente, Para el caso de la estación Río Biobío en Rucalhue, no se fue posible naturalizar los caudales debido a diferencias en el régimen hidrológico con respecto a las otras estaciones, es por ello que se consideraron los periodos 2003-2014 previo a la entrada en operación de la central Angostura y el periodo 2014-2020 como post impacto de la central.

Para el análisis de los efectos que tiene la operación de las centrales sobre el régimen hidrológico en el área de estudio, se adoptan los índices IHA (Richter et al., 1996), para realizar el diagnóstico de la alteración hidrológica producto de la construcción y operación de las centrales hidroeléctricas Ralco, Pangue y Angostura. Este método requiere como entrada una serie diaria de caudales y mediante un análisis estadístico de la muestra, entrega como resultado 32 índices anuales, organizados en cinco grupos. Estos parámetros proporcionan información de rasgos ecológicamente significativos que influyen en el bienestar de los ecosistemas fluviales.

El cálculo de los índices IHA se realizó utilizando el software IHA 7.1 desarrollado por *The Nature Conservancy*. Este cálculo se realiza para las series de caudal medido y naturalizado en cada estación fluviométrica. Para estudiar como varían los índices, mencionados anteriormente, se

utiliza el método Análisis de Rango de Variabilidad, RVA. En el análisis RVA, todos los grupos de IHA calculados con la serie de caudales naturales, se divide en tres categorías diferentes. Los límites entre las categorías se basan en valores de percentiles, ya que es un análisis no paramétrico. La configuración predeterminada por el software en el análisis RVA no paramétrico ubica los límites de las categorías a 17 percentiles de la mediana, esto produce una demarcación automática de las tres categorías de igual tamaño, para cada uno de los 33 índices:

- Categoría baja: valores entre los percentiles 0 – 33.
- Categoría media: valores entre los percentiles 33 – 67.
- Categoría alta: valores entre los percentiles 67 – 100.

Luego se tendrán las tres categorías para cada IHA y se calcula la frecuencia esperada con la cual los valores de los índices IHA determinados con la serie de caudales alterados, deberían caer dentro de cada categoría. Esto se hace, dividiendo la cantidad de años para los que se calcularon los índices, en el número de categorías, es decir, tres (si el número es múltiplo de tres, si no, las tres frecuencias esperadas no quedan exactamente iguales, ya que esta debe ser un número entero). Luego, el programa calcula la frecuencia con la cual los valores de los índices IHA para la serie de caudales alterados, realmente caen dentro de cada una de las tres categorías. Así, el análisis RVA genera, para cada índice y categoría, factores de alteración hidrológica (HA, por sus siglas en inglés), que cuantifica el grado de alteración de los 33 índices IHA, los cuales se calculan como:

$$HA = \frac{\text{Frecuencia observada} - \text{Frecuencia esperada}}{\text{Frecuencia esperada}} \quad (1)$$

Un valor positivo de alteración hidrológica significa que la frecuencia de los valores en la categoría ha aumentado entre las series alteradas y naturales, mientras que un valor negativo significa que la frecuencia de los valores ha disminuido.

Escala intradiaria

En primera instancia, se recopila información fluviométrica horaria desde las estaciones fluviométricas analizadas y registros de potencia horaria entregada de cada central.

Para analizar el conflicto entre la operación hidroeléctrica en esquema *hydropeaking* y conservación del ecosistema fluvial, se determinan previamente los caudales turbinados por cada central, realizando la transformación de potencia a caudal mediante el factor de rendimiento de cada central, el cual se encuentra disponible en los datos de operación del coordinador eléctrico nacional. Posteriormente se calculan las métricas definidas por Zimmerman et al. (2010) para los caudales turbinados y los caudales registrados en las estaciones fluviométricas, lo cual dará origen a un índice por día. Luego, como se cuenta con un registro extenso, es posible obtener una muestra de cada indicador calculado para cada fuente de los registros (central hidroeléctrica o estación fluviométrica). Se ordenan las muestras de índices de modo de poder asignarles una probabilidad de excedencia utilizando la distribución empírica de Weibull. Así, se determinan las curvas de duración de cada indicador para cada una de las centrales hidroeléctricas y estaciones fluviométricas, agrupándolas a distintas resoluciones temporales (registro completo, temporada, mes). Finalmente, para cuantificar el grado de alteración producto del *hydropeaking*, se comparan

las curvas de duración a diferentes escalas temporales de cada índice entre el régimen natural (estación fluviométrica sin intervención antrópica, Río Biobío en Llanquén) y el régimen alterado el cual está dado por las curvas de duración de las generadoras y estaciones fluviométricas ubicadas aguas abajo de estas.

3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de análisis de series de tiempo de caudales en distintos puntos del río Biobío que potencialmente reflejan el impacto de las operaciones de las centrales Ralco, Pangue y Angostura, así como caudales turbinados por estas centrales.

En primer lugar, se incluye un análisis IHA de los caudales en punto representativos del río ubicados aguas abajo del punto de restitución de cada una de las centrales. Este análisis incluye una comparación con el régimen natural para cada punto de estudio, a través del método RVA. En la Figura 2 se presentan los resultados del análisis del rango de variabilidad de cada índice de alteración hidrológica, calculado según la ecuación (1), para cada una de las estaciones en el río, asociadas a las centrales hidroeléctricas estudiadas. Las barras están coloreadas según la categoría que exhibe la mayor alteración hidrológica respecto al régimen natural de las 3 (alta, media, baja) para cada IHA, en donde la determinación de cada categoría (alta, media y baja) fue descrita en la sección previa y se clasifican según color rojo, verde y amarillo respectivamente. Adicionalmente, el eje horizontal representa la magnitud de la alteración, la cual se determina a partir de la frecuencia esperada (régimen natural) y la que se observa realmente (régimen intervenido), según la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

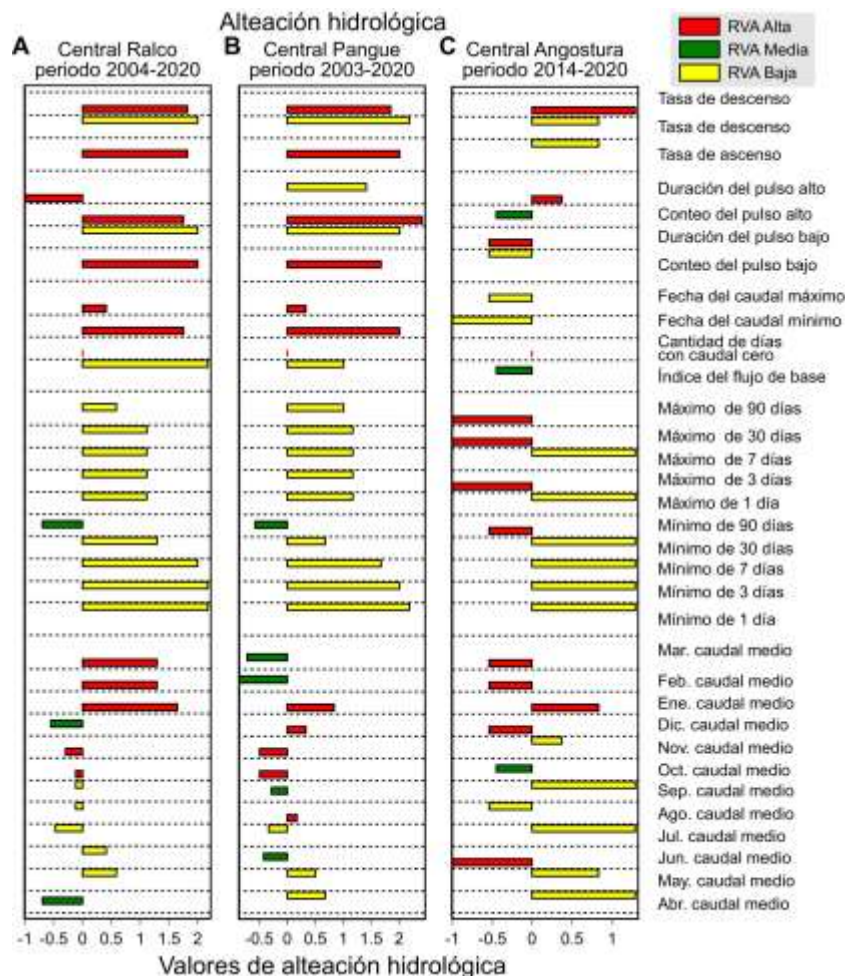


Figura 2: Mayor alteración hidrológica entre las tres categorías para cada índice, considerando el caudal medido en el río aguas abajo de cada central hidroeléctrica.

En la Figura 2A) se presenta gráficamente la alteración hidrológica correspondiente al punto aguas abajo de la central Ralco, según el rango de variabilidad de cada uno de los IHA. Se observan cambios significativos en la mayoría de los indicadores. Algunos indicadores, como la tasa de descenso, conteo de pulsos bajos, y cantidad de días con caudal cero, muestran aumento, más que duplicando la frecuencia de valores en la categoría alta, definida a partir del período previo. Por otra parte, los caudales máximos y mínimos muestran un aumento de frecuencia en la categoría baja, lo que se interpreta como una reducción con respecto a los valores del período previo.

Respecto a la estacionalidad de caudales, se puede observar que, en la mayoría de los meses húmedos, exceptuando mayo y junio, la mayor alteración es producida porque los caudales promedios disminuyen mayormente en la categoría baja, es decir, hay más caudales entre los percentiles menores al 33 con respecto a las otras dos categorías. Por otro lado, en la gran mayoría de los meses secos (enero, febrero y marzo) la mayor alteración es producida porque los caudales promedios aumentan en la categoría alta, mientras que para octubre y noviembre disminuyen en esta misma categoría. En cuanto a los pulsos de caudal, tanto los pulsos bajos y altos aumentan su cantidad en la categoría alta, y además aumentan y disminuyen su duración respectivamente en esta misma categoría.

En la Figura 2B), correspondiente a un punto aguas abajo de la central Pangué, se observan cambios significativos en la mayoría de los indicadores. La tasa de descenso, tasa de ascenso, y conteo de pulsos altos, muestran un aumento importante, más que duplicando la frecuencia de valores en la categoría alta, definida a partir del período previo. Por otra parte, los caudales máximos y mínimos muestran un aumento de frecuencia en la categoría baja, lo que se interpreta como una reducción con respecto a los valores del período previo. La cantidad de pulsos de caudal, tanto bajos como altos, aumentan su frecuencia en la categoría alta, mientras su duración aumenta en la categoría baja. Esto significa la ocurrencia de más pulsos, pero de menor duración.

Respecto a la estacionalidad definida por las medianas mensuales se puede observar que en algunos de los meses húmedos (abril y mayo) la mayor alteración es producida porque la mediana de los caudales aumenta en la categoría baja, es decir, hay más caudales entre los percentiles menores al 33 y menos en las otras dos categorías. En meses secos (diciembre y enero) la mayor alteración es producida porque aumenta la frecuencia de la mediana de caudales en la categoría alta, mientras que para febrero y marzo disminuyen en la categoría baja. Por lo tanto, en los meses húmedos, el caudal promedio disminuye su magnitud.

Finalmente, la Figura 2C) muestra el análisis RVA asociado a la central Angostura. Se observan cambios significativos en la mayoría de los indicadores. La tasa de descenso, duración del pulso alto, y caudal medio de enero, muestran aumento significativo, amplificando la frecuencia de valores en la categoría alta, definida a partir del período previo. Por otra parte, los caudales máximos de 90, 30 y 3 días muestran una disminución de frecuencia en la categoría alta, lo que se interpreta como una reducción con respecto a los valores del período previo.

Se puede observar que, en la mayoría de los meses húmedos, exceptuando junio y agosto, la mayor alteración es producida porque los caudales promedio aumentan en la categoría baja, es decir, hay más caudales entre los percentiles menores al 33 y menos en las otras dos categorías. Por otro lado, en la gran mayoría de los meses secos (diciembre, febrero y marzo) la mayor alteración es producida porque los caudales promedio disminuyen en la categoría alta, mientras que para noviembre y enero aumentan en categoría baja y alta respectivamente. Respecto a los pulsos de caudal, tanto los pulsos bajos y altos disminuyen su cantidad en la categoría baja y alta respectivamente. Además, por su parte los pulsos bajos disminuyen su duración mayormente en la categoría alta mientras que los pulsos altos aumentan en esta misma categoría.

Además de la caracterización de variabilidad interdiaria recién descrita, se presentan los resultados asociados a la alteración hidrológica intradiaria, obtenida a partir de análisis de series de caudales medios horarios, a través del cálculo de los índices propuestos por Zimmerman et al. (2010). En la Figura 3 se presentan las curvas de duración de la métrica RBF (por sus siglas en inglés) para cada central hidroeléctrica analizando distintas escalas temporales (todo el registro, estacional y mensual). Al considerar el periodo completo, se observa que los caudales turbinados por la central Ralco producen los mayores valores de esta métrica. Al analizar la distribución del RBF por temporada, se obtiene que tanto la central hidroeléctrica Ralco como Pangué, aumentan levemente el grado de alteración horaria en temporada húmeda. La central Angostura no muestra un efecto estacional significativo.

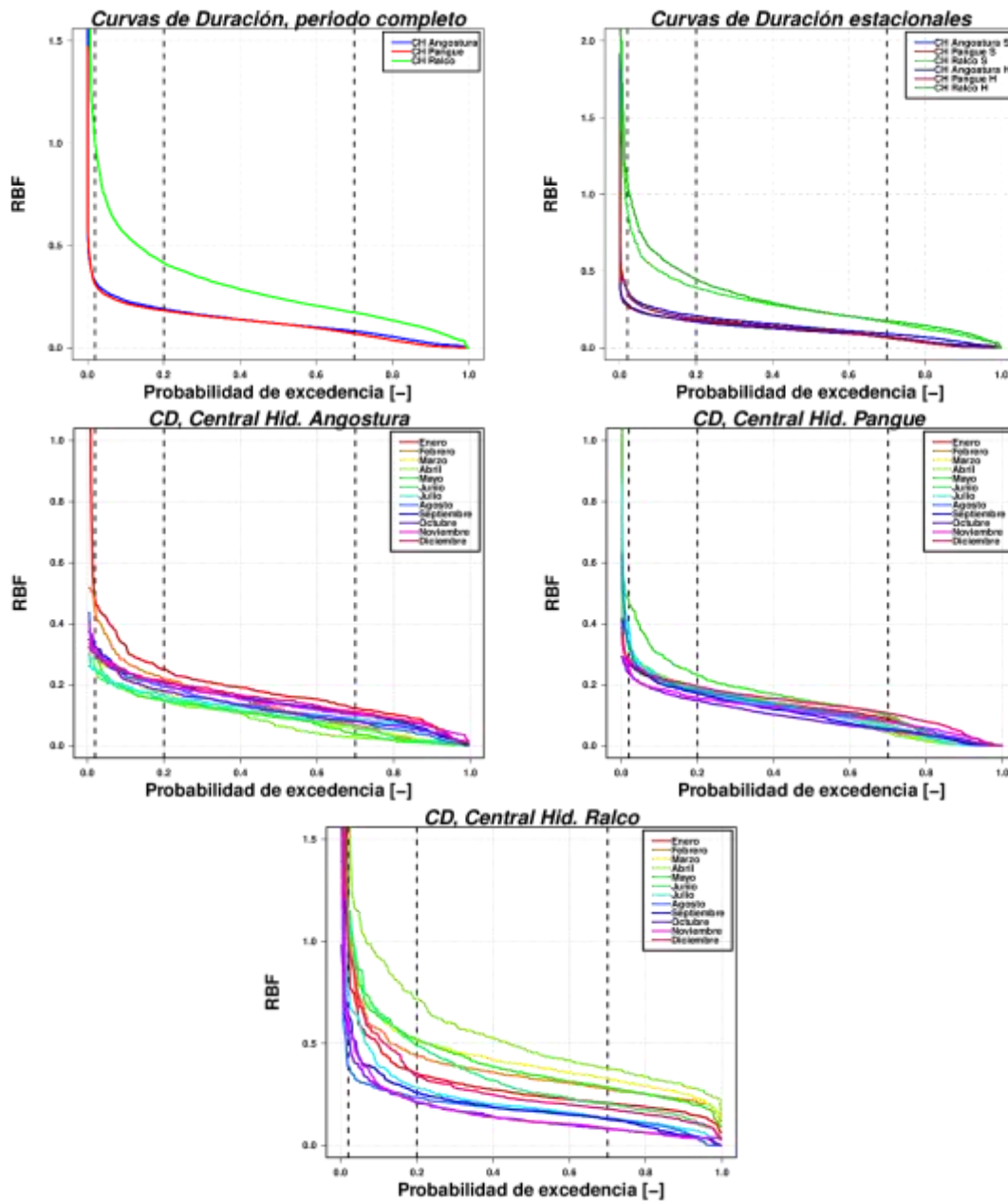


Figura 3: Curvas de duración del Índice de fluctuación Richards – Baker (RBF) para cada central hidroeléctrica, obtenidos a partir de los caudales horarios turbinados.

A partir de las curvas de duración mensuales, se aprecia que la central Ralco en los meses de marzo - abril se produce la mayor alteración al hidrograma horario, mientras que en los meses de octubre - noviembre, se observan menores valores de RBF. La central Pangue exhibe con comportamiento similar a Ralco, pero con mucha una menor dispersión entre meses. Por último, la central Angostura presenta aún menor dispersión, con los mayores RBF en los meses de diciembre – enero, y los menores en los meses de abril – mayo.

A partir de los caudales horarios registrados las estaciones fluviométricas cercanas a los puntos de interés (Tabla 2) se presentan curvas de duración de los 4 indicadores de alteración intradiaria presentados en la metodología. En primera instancia, se determinan las curvas de duración considerando el registro horario completo y posteriormente se presentan curvas por temporada.

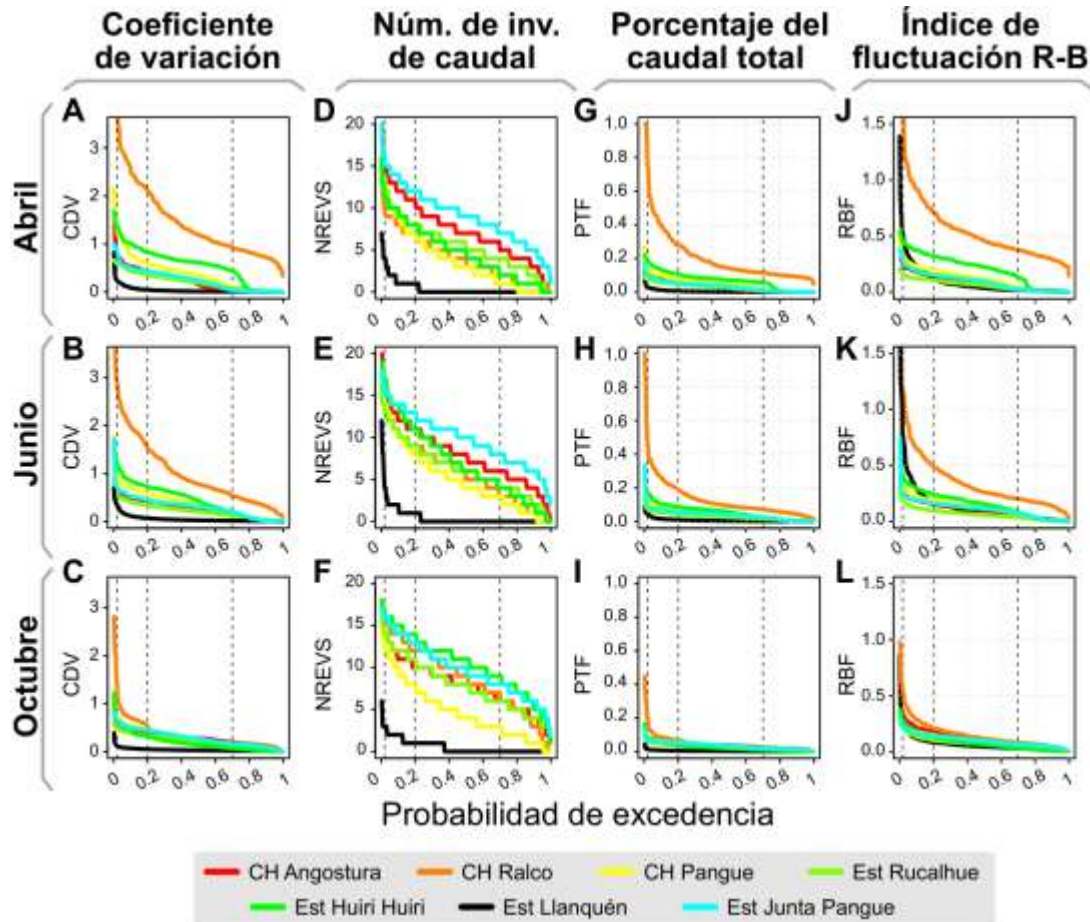


Figura 4: Curvas de duración índices de alteración hidrológica horaria en distintos puntos, para los meses de abril, junio y octubre, obtenidos desde caudales horarios turbinados por cada central y caudales horarios medidos por las estaciones fluviométricas.

Adicionalmente, se estudia la dispersión mensual de las curvas de duración de los índices de alteración hidrológica horaria, para cada estación fluviométrica (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Con la finalidad identificar la relación entre la operación de las centrales y los caudales observados en el río, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se agrupan las curvas de duración tanto de los caudales turbinados por las centrales hidroeléctricas como de las estaciones fluviométricas, para los meses de abril, junio y octubre, la elección de dichos meses fue considerando que son los que presentan mayor, mediana y menor alteración respecto al régimen natural. En general, para los índices CDV, PTF y RBF, la operación de la central Ralco es la que representa mayor alteración hidrológica intradiaria, especialmente los meses de abril y junio. Por otra parte, en octubre se muestran los menores niveles de alteración, coincidiendo de las curvas de duración de cada central con el régimen natural.

La estación que presenta un mayor grado de alteración hidrológica producto del *hydropeaking* corresponde a Río Biobío antes Junta Huiiri Huiiri, la cual se ubica aguas abajo de la central Ralco, la cual coincide con la central que exhibe mayores fluctuaciones intradiarias. Además, esta tendencia se ve acrecentada en los periodos húmedos al igual que la estación Río Biobío antes Junta Pangué, pero en menor magnitud. Por último, los registros de las fluctuaciones intradiarias en la estación Río Biobío en Rucalhue coinciden con la operación de la central Angostura.

4. CONCLUSIONES

Con respecto a los efectos sobre el régimen hidrológico analizado a partir del enfoque de IHA, se concluye que la operación de las centrales Ralco y Pangué alteró de forma importante el régimen natural de caudales en la parte alta del río Biobío en el periodo 2004 - 2020. Los resultados exhiben significativas diferencias entre los IHA para el régimen previo y posterior al impacto de las centrales hidroeléctricas.

La central que produce mayor grado de alteración hidrológica intradiaria a partir de sus caudales turbinados es Ralco, cuyos efectos se ven acentuados en época de caudales altos (abril – septiembre). La central Pangué, presenta una alteración bastante menor y comparable con la central Angostura, la cual corresponde a la central cuya operación provoca el menor grado de alteración en la zona, y al contrario de las otras dos centrales, sus efectos se acentúan en época de caudales bajos.

El patrón de caudales horarios turbinados por cada una de las centrales se refleja en los caudales observados en las estaciones fluviométricas ubicadas aguas abajo del punto de restitución de las centrales analizadas. La estación que evidencia mayor *hydropeaking* corresponde a Río Biobío antes Junta Huiiri Huiiri, ubicada aguas abajo de la restitución de la central Ralco. Además, se puede afirmar que la central Pangué actúa como contraembalse de Ralco, amortiguando de alguna manera las fluctuaciones intradiarias producidas por esta última.

En los meses de abril - julio la operación en punta de la central hidroeléctrica Ralco (y Pangué en menor magnitud) es sumamente perjudicial para la cuenca dado que exhibe magnitudes de los índices que exceden en al menos 3 veces los asociados al régimen natural horario (representado por los registros intradiarios de la estación Río Biobío en Llanquén). Es por ello que, se recomienda evitar en lo posible operar en punta en los meses húmedos, para el caso de las generadoras Ralco y Pangué ya que esto genera una mayor alteración hidrológica. Para el caso de los meses secos, no se deberían imponer restricciones en caso de mantener los niveles actuales de operación, ya que estos se asemejan bastante al régimen natural.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado a través del proyecto NSFC190025 del Programa de Cooperación Internacional de la Agencia Nacional de Investigación (ANID).

REFERENCIAS

Diáz, G., Arriagada, P., Górski, K., Link, O., Karelovic, B., Gonzalez, J., & Habit, E. (2019). Fragmentation of Chilean Andean rivers: Expected effects of hydropower development.

- García, A., Convention, A., Fallis, A. ., Haas, J., Olivares, M. A., Palma-Behnke, R., Synthese, R. D. E., La, D. A., Cortes, R. M. V., Ferreira, M. T., Oliveira, S. V., Oliveira, D., Olivares, M. A., Haas, J., Palma-Behnke, R., Benavides, C., & Abstract, E. (2015). Respuesta de peces nativos a fluctuaciones de caudal producidas por la operación de centrales hidroeléctricas en el río biobío [Universidad de Concepción]. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 18, Issue June). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- García, A., Jorde, K., Habit, E., Caamaño, D., & Parra, O. (2011). Downstream environmental effects of dam operations: Changes in habitat quality for native fish species. *River Research and Applications*, 27(3), 312–327. <https://doi.org/10.1002/rra.1358>
- Habit, E., Belk, M. C., & Parra, O. (2007). Response of the riverine fish community to the construction and operation of a diversion hydropower plant in central Chile. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 17(1), 37–49. <https://doi.org/10.1002/aqc.774>
- Jowett, I. G. (1997). Instream flow methods: A comparison of approaches. *Regulated Rivers: Research and Management*, 13(2), 115–127. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1646\(199703\)13:2<115::AID-RRR440>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1646(199703)13:2<115::AID-RRR440>3.0.CO;2-6)
- RICHTER, B., Conservancy, T. N., Box, P. O., Baumgartner, J. V., Wigington, R., & Conservancy, T. N. (1997). How much water does a river need ? C--047636 C--047637. *Freshwater Biology*, 047636(August), pp.231-249.
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Powell, J., & Braun, D. P. (1996). A Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems. *Conservation Biology*, 10(4), 1163–1174. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1996.10041163.x>
- Villagrán, C., & Hinojosa, F. (1997). History of the forests of southern South America, II: phytogeographical analysis. *Revista Chilena de Historia Natural*, 70, 241–267.
- Zimmerman, J. K. H., Letcher, B. H., Nislow, K. H., Lutz, K. A., & Magilligan, F. J. (2010). Determining the effects of dams on subdaily variation in river flows at a whole-basin scale. *River Research and Applications*, 26(10), 1246–1260. <https://doi.org/10.1002/rra.1324>