

# Potencial Hidroeléctrico en Chile

Ministerio de Energía, Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas y Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile

---

## 1. INTRODUCCIÓN

A continuación, se presenta la más reciente actualización (diciembre de 2019) del Potencial Hidroeléctrico de Chile. El nuevo potencial hidroeléctrico ha sido calculado mediante el uso de la Plataforma de Modelación del Potencial Hidroeléctrico descrita en el apartado 2 del presente documento. Un resumen sobre criterios específicos utilizados y resultados obtenidos en la evaluación de potencial hidroeléctrico son presentados en la sección 3.

## 2. PRESENTACIÓN DE LA PLATAFORMA DE MODELACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL HIDROELÉCTRICO

Los Derechos de Aprovechamiento de Agua No Consuntivos (DAANC) son un elemento clave para la evaluación del potencial hidroeléctrico de Chile, debido a que representan el volumen de agua que está legalmente disponible para fines de desarrollo hidroeléctrico a lo largo del país.

La primera evaluación del potencial hidroeléctrico basada en DAANC fue impulsada por MINENERGIA/GIZ (2014)<sup>1</sup> y se basaba en:

- El procesamiento de datos de DAANC (ubicación, desnivel, caudal otorgado, ejercicio, entre otros) entregados por la Dirección General de Aguas (DGA).
- Herramientas de modelación numérica de procesos meteorológicos (modelo WRF) e hidrológicos (modelo VIC), que entregan caudales medios diarios para el periodo 1990-2009.
- Análisis de antecedentes sistematizados de centrales hidroeléctricas.
- Aplicación de restricciones territoriales.
- Validación mediante la comparación con datos de producción real de centrales de pasada.

---

<sup>1</sup> MINENERGIA/GIZ, 2014. Energías Renovables en Chile. El potencial eólico, solar e hidroeléctrico de Arica a Chiloé. ([www.minenergia.cl/archivos\\_bajar/Estudios/Potencial\\_ER\\_en\\_Chile\\_AC.pdf](http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/Estudios/Potencial_ER_en_Chile_AC.pdf))

La combinación de DAANC con resultados del modelo hidrológico, sumado a la incorporación de un conjunto de consideraciones técnicas y territoriales, posibilitan la determinación de la configuración óptima -en términos de ubicación de obras y rendimiento- de Potenciales Centrales Hidroeléctricas. De esta manera, la evaluación está orientada a identificar aquella fracción del Potencial que podría tener un desempeño relativamente elevado en la producción de energía.

Para acceder a información detallada respecto al contexto, objetivos, alcances, metodologías y resultados de la metodología original de evaluación de potencial se sugiere revisar MINENERGIA/GIZ (2014).

Con el objetivo de elevar la calidad y confiabilidad de los resultados, desde 2014 a la fecha se han incorporado importantes modificaciones a la metodología. Estas se relacionan con el mejoramiento de los datos de entrada, el perfeccionamiento de los modelos y de las capacidades de análisis, la generación de datos con mayor representatividad espacial y temporal, y la consolidación de herramientas en-línea que ayudan a analizar y difundir los resultados.

El perfeccionamiento y sistematización de la metodología ha permitido responder de manera cada vez más rápida y eficaz a interrogantes sobre potencial hidroeléctrico. El fortalecimiento de los procedimientos y la conjunción de tecnologías propiciaron la consolidación de lo que hoy se denomina Plataforma de Modelación para la Evaluación del Potencial Hidroeléctrico. Los principales componentes de la plataforma son presentados en la Figura 1.

La plataforma de modelación utiliza mediciones de precipitación, caudal y temperatura proveniente de más de 500 sitios, sumado a datos de viento y radiación de los Exploradores Eólico<sup>2</sup> y Solar<sup>3</sup> y el re-análisis atmosférico de escala global MERRA-2<sup>4</sup> utilizado como modelo background. Esta información es procesada por el modelo VIC<sup>5</sup> para generar caudales horarios para el periodo 1980-2017. El caudal es distribuido a través de la red hidrográfica sintética que se obtiene del procesamiento de un modelo de elevación digital de origen satelital SRTM<sup>6</sup> (NASA) de 30m de resolución espacial horizontal. La plataforma es capaz de generar resultados desde el límite sur de la Región de Coquimbo hasta el extremo sur de la Región de Aysén. La Figura 2 muestra el flujo de trabajo del modelo VIC dentro de la Plataforma de Modelación para la Evaluación del Potencial Hidroeléctrico.

---

<sup>2</sup> <http://eolico.minenergia.cl>

<sup>3</sup> <http://solar.minenergia.cl>

<sup>4</sup> Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2  
<https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2>

<sup>5</sup> Variable Infiltration Capacity (VIC) Macroscale Hydrologic Model (U. de Washington)

<sup>6</sup> <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

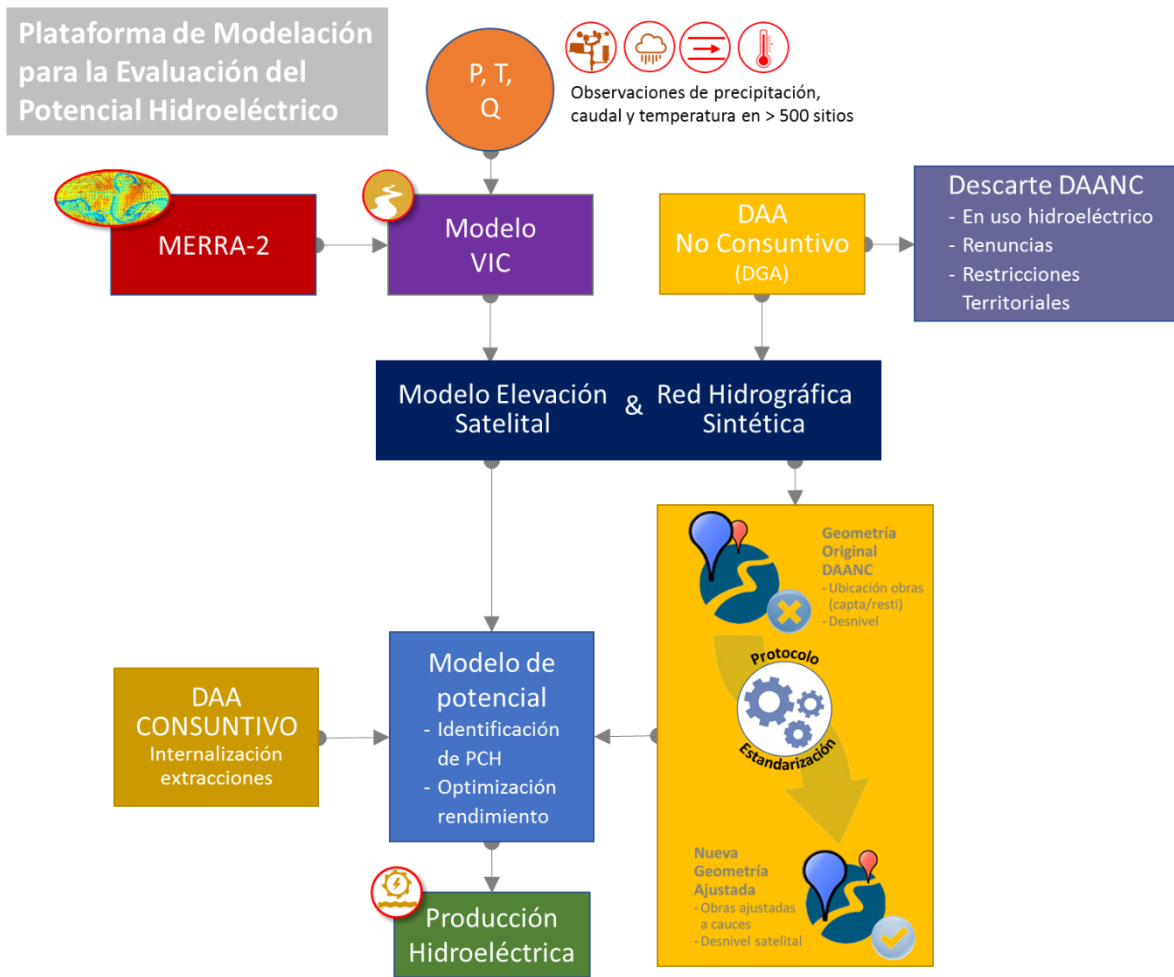


Figura 1 Principales componentes de la Plataforma de Modelación para la Evaluación del Potencial Hidroeléctrico



Figura 2 Flujo de trabajo del modelo VIC dentro de la Plataforma de Modelación para la Evaluación del Potencial Hidroeléctrico

Los datos sobre DAANC ingresan a la plataforma mediante un protocolo de estandarización que consiste en un conjunto de acciones reproducibles que aseguran la correcta integración de la dimensión espacial del DAANC dentro el sistema de modelación. La estandarización consiste en aplicar ciertos ajustes sobre la ubicación de las obras de cada DAANC con el fin de no transgredir el marco de referencia espacial del sistema de modelación impuesto por la topografía de origen satelital y la red de cauces derivada del DEM.

Basándose en análisis detallados se ha logrado determinar que el desnivel satelital es un insumo mucho más robusto y objetivo que el desnivel original que forma parte de los atributos de cada DAANC. Este es un aspecto que gran relevancia debido a que se ha podido comprobar que su utilización en la evaluación de potencial hidroeléctrico por un lado eleva el nivel de confianza en el resultado, y por otro reduce en forma significativa la potencia instalable (en relación con el resultado obtenido utilizando el desnivel original del DAANC).

El subconjunto de DAANC que no logra ser ajustado al marco de referencia espacial del sistema de modelación es descartado de la modelación de potencial hidroeléctrico. También son descartados *a priori* de la evaluación de potencial aquellos DAANC que representan un recurso que se encuentra en uso hidroeléctrico; sumando a aquellos DAANC sujetos a restricciones territoriales (captaciones demasiadas cercanas a Parques Nacional o sitios sujetos a la convención Ramsar), y finalmente sumando a aquellos que representa a DAANC renunciados.

El modelo de potencial utiliza un algoritmo de optimización que determina la combinación de DAANC más favorable y la parametrización de diseño con mejor desempeño, aplicando una función de ajuste sobre la capacidad instalable de centrales con factor de planta inferior a 50% con el fin de elevar su rendimiento.

Los DAA Consuntivos (DAAC) representativos de extracciones de agua oficiales son internalizados espacial y temporalmente por la plataforma a la hora de calcular el potencial.

- Se identifican los DAAC que se encuentran aguas arriba de cada punto captación de la PCH.
- Se calcula el caudal correspondiente a los DAAC (nivel mensual) y se resta este valor del caudal disponible en cada captación.
- Se recalcula la producción del PCH, manteniendo la capacidad de la central que fue calculada sin tomar en cuenta los DAAC. En este caso se permite que el factor de planta desciende a valores menores a 50%

Las limitaciones de la plataforma de modelación se relacionan con los siguientes aspectos:

- Solamente es capaz de identificar y estimar la producción de potenciales centrales de pasada. DAANC vinculados a potenciales centrales de embalse son tratados como centrales de pasada.
- La metodología no incorpora PCH asociadas a obras de riego.
- No se consideran DAANC en etapa de tramitación.
- La metodología no considera extracciones distintas a las definidas por DAAC
- Los DAANC que se encuentran demasiado alejados de la Red de Caudes Naturales son descartados de la modelación. En este sentido, existe una limitación asociada a la cobertura espacial y nivel de detalle que ofrece la red de cauces. Cuando esta no es suficientemente detallada puede elevar en demasía el distanciamiento de los DAANC a la red de cauces.

### 3. NUEVO POTENCIAL HIDROELÉCTRICO

La plataforma de modelación para la evaluación de potencial hidroeléctrico ha sido utilizada para la identificación de potenciales centrales hidroeléctricas. A continuación, se describe un conjunto de criterios y restricciones utilizados en la determinación de PCH:

- Actualización de datos de Derechos de Agua y Centrales hidroeléctricas hasta diciembre del 2019:
    - Nuevos datos de Derechos de Aprovechamiento de Aguas No Consuntivos constituidos hasta diciembre del año 2019, incluyendo renunciadas a DAANC declaradas por DGA a esa fecha.
    - Datos sobre DAA Consuntivos (actualizados a agosto del 2019) proporcionado por DGA.
    - Nuevos datos de Centrales Hidroeléctricas en Operación, Pruebas o Construcción (OPC) proporcionados por el Ministerio de Energía, y
    - Nuevo conjunto de datos sobre 'DAANC en uso hidroeléctrico' serán apartados de la evaluación de potencial.
  
  - Restricciones específicas aplicadas a DAANC:
    - No se consideraron DAANC que pudieron vincularse a centrales hidroeléctricas en operación, en pruebas o en construcción a diciembre de 2019 según datos del Ministerio de Energía.
    - Solo se consideran aquellos DAANC cuyo uso sea declarado como 'energía hidroeléctrica', 'otros usos' o sin un uso declarado.
    - Se excluyen DAANC cuyas bocatomas se ubican dentro de los límites de Parques Nacionales o sitios protegidos RAMSAR. Los límites de Parques Nacionales son considerados de acuerdo a lo establecido mediante ORD DCNA N° 52, del 27 de mayo de 2015, por el Ministerio de Bienes Nacionales.
    - Aplicación de un protocolo de estandarización de geometrías de DAANC. A partir de la combinación de:
      - coordenadas de obras (captación y restitución) originales del DAANC,
      - datos de elevación del terreno de origen satelital de 30m de resolución espacial horizontal (SRTM, NASA), y
      - red de cauces naturales,
- Se calculan:
- nuevas coordenadas de obras ajustadas al cauce más cercano,
  - distanciamiento entre coordenada originales y ajustadas, y
  - desnivel satelital.

Las nuevas coordenadas ajustadas y desnivel satelital son utilizados para asegurar la correcta integración de la dimensión espacial de los DAANC en la plataforma de modelación, descartando de esta manera aquellas geometrías consideradas incompatibles. En particular, para el resultado aquí se presenta se descartan DAANC según los siguientes criterios:

- Descarte de aquellos DAANC con desnivel satelital menor o igual que cero, y
- Descarte de DAANC cuyas obras se distancian más de 750 m del cauce más cercano

Se debe tener en consideración que existe una etapa adicional en la que las geometrías de DAANC pueden ser sometida a ajustes. Se trata de la reubicación de obras de captación según caudal natural disponible. Este cálculo es parte de las rutinas del Sistema de Modelación de Potencial Hidroeléctrico que toma en consideración las geometrías DAANC (ajustadas al río) y el caudal natural modelado (VIC). El objetivo es asegurar que la captación se emplace en una sección de cauce que cuenta con caudal suficiente para abastecer la demanda del DAANC. El umbral para este ajuste también ha sido definido en 750m. Las nuevas geometrías resultantes son posteriormente utilizadas en la definición de parámetros de diseño de potenciales centrales hidroeléctricas.

- Se eliminan aquellos DAANC que muestran un caudal otorgado que dista demasiado del caudal modelado para la ubicación del DAANC.
- Restricciones específicas aplicadas a PCH:
  - Se eliminan las PCH que tienen una capacidad instalada menor a 0.1 MW.
  - Se eliminan las PCH que aun después de la aplicación de un algoritmo de optimización, su factor de planta no sobrepasa el 50%

El resultado general son 2056 potenciales centrales que acumulan una capacidad de 11,766 MW. La Tabla 1 muestra la distribución de potenciales centrales según rango de capacidad instalable.

Rango MW PCH	Capacidad MW	Pot. Media MW	f.p.	Cantidad PCH
0.1 - 1.0 MW	325.22	210.46	0.67	756
1.0 - 9.0 MW	3361.89	2006.77	0.60	985
9.0 - 20.0 MW	2656.52	1574.31	0.60	204
20.0 - 40.0 MW	2007.49	1164.45	0.58	72
40.0 - 100.0 MW	1723.44	1019.43	0.59	29
> 100.0 MW	1691.87	1058.09	0.63	10
<b>Total general</b>	<b>11766.43</b>	<b>7033.51</b>	<b>0.63</b>	<b>2056</b>

Tabla 1. Distribución de potenciales centrales según rango de capacidad instalable

En la tabla es posible apreciar que las PCH más pequeñas (0.1-9MW) acumula la mayor cantidad (equivalente al 85%) de potenciales centrales, pero que a la vez acumulan un porcentaje moderado de capacidad y generación (31.3%). Las centrales entre 9 y 40MW acumulan casi el 40% de la capacidad instalable y representan tan solo el 13.4% del total de potenciales centrales. El pequeño grupo de 39 potenciales centrales mayores a 40W acumulan 29% del potencial instalable. La Figura 3 representa la distribución porcentual de la capacidad acumulada (MW) en las cuencas. La Figura 4 muestra más detalles de la distribución del Potencial Hidroeléctrico a nivel de cuenca.

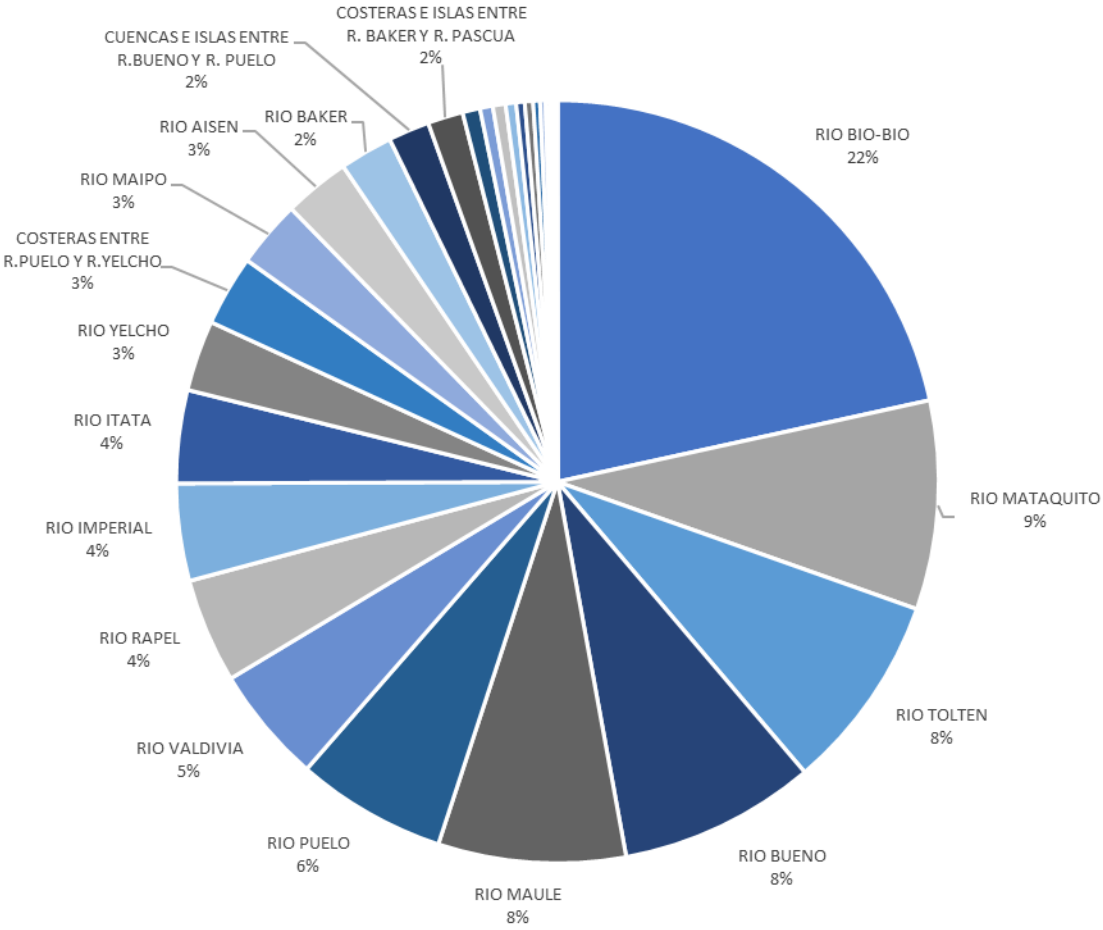


Figura 3 Distribución porcentual del potencial según cuenca

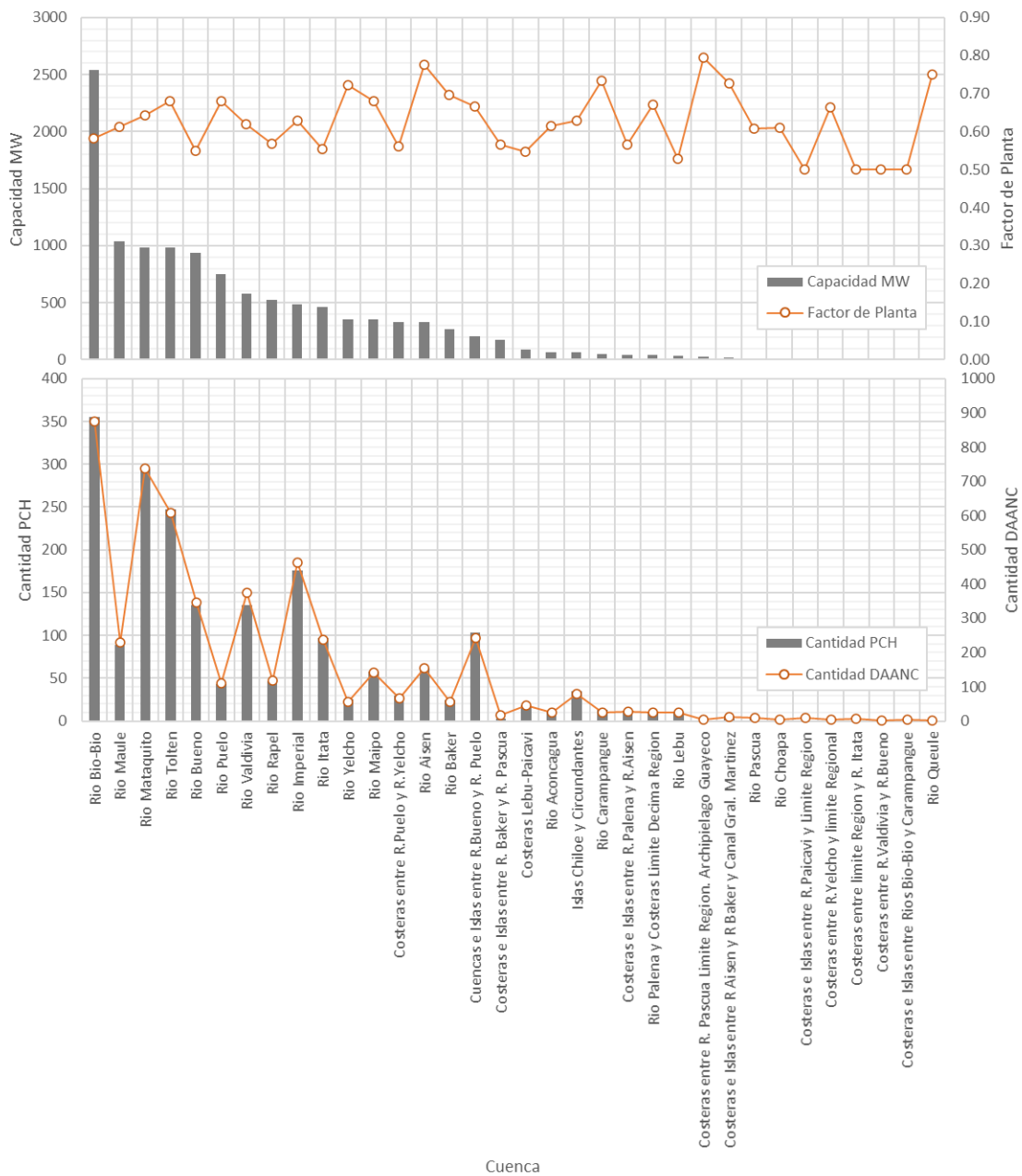


Figura 4 Resumen de distribución del Potencial Hidroeléctrico a nivel de cuenca. Arriba, capacidad acumulada (MW) y factor de planta medio. Abajo, Cantidad de Potenciales Centrales Hidroeléctricas (PCH) y cantidad de DAANC involucrados.