

ESTUDIO DE RECURSOS HÍDRICOS, POTENCIALES HIDROELÉCTRICOS Y DISEÑO DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ

Monroy Cuellar José Luis

Instituto de Hidráulica e Hidrología IHH,
Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de
Ingeniería, Universidad Mayor de San
Andrés. La Paz Bolivia.

ORCID: 0000-0002-4060-2538

Herbas Camacho Carlos

Instituto de Hidráulica e Hidrología IHH,
Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de
Ingeniería, Universidad Mayor de San
Andrés. La Paz Bolivia.

ORCID: 0000-0002-3034

Funes Alvarez Néstor

Instituto de Hidráulica e Hidrología IHH,
Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de
Ingeniería, Universidad Mayor de San
Andrés. La Paz Bolivia.

ORCID: 0000-0001-5364-0376

Ramírez Rodriguez Edson

Instituto de Hidráulica e Hidrología IHH,
Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de
Ingeniería, Universidad Mayor de San
Andrés. La Paz Bolivia.

ORCID: 0000-0001-5395-0411

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



Resumen: El artículo es la síntesis de tres estudios similares realizados en los municipios de Pelechuco en la Provincia Franz Tamayo, Charazani y Curva en la Provincia Bautista Saavedra y Sorata en la Provincia Larecaja del Departamento de La Paz, Bolivia. Los estudios se desarrollaron en las cuencas altas de los ríos Pelechuco, Caalaya y Cooco ubicados en estos municipios. En las tres iniciativas, se realizaron estudios hidrológicos para la cuantificación de los recursos hídricos, estudios de potenciales hidroeléctricos en las cuencas y se diseñaron tres pequeñas centrales hidroeléctricas PCHs. Para recolectar información hidrometeorológica, prácticamente inexistente en la zona, se instalaron redes de estaciones hidrométricas y meteorológicas, recabando información de campo básica para realizar los balances hídricos. Los estudios hidrológicos, base de los otros, constituyen un aporte relevante que permitirá a los municipios contar con información básica para ejecutar proyectos de aprovechamiento de los recursos hídricos: agua potable, riego y generación hidroeléctrica. Los estudios a diseño final de las PCHs constituyen un aporte fundamental que permitirá a los municipios gestionar su futura implementación como proyectos de generación de energía hidroeléctrica autogestionarios. Los estudios de potenciales hidroeléctricos permiten conocer las potencialidades de la zona en cuanto a la generación hidroeléctrica. Estos estudios son un aporte al desarrollo de la generación hidroeléctrica en pequeña escala en el país, que cuenta con escaso crecimiento, pese a ser la base, conjuntamente con otras energías alternativas para el desarrollo de alternativas energéticas futuras como el *Hidrógeno Verde*.

Palabras clave: Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, Potenciales Hidroeléctricos, Cuencas de alta montaña.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el estudio de de Gernot Ruths: Planificación Energética Rural para Bolivia, en el año 1990 (RUTHS, 1990) único documento oficial que se conoce sobre este tema, la cordillera de Apolobamba, ubicada en el Departamento de La Paz es la que mayor potencial hidroeléctrico cuenta, con valores mayores a 100 GWh/Km²/año.

Pese a que estas zonas cuentan con potenciales interesantes, no se han realizado estudios específicos que permitan cuantificar con mayor exactitud sus potenciales. No se cuenta con estaciones hidrométricas en los ríos de la zona que permitan conocer el comportamiento de sus caudales en el tiempo y solo existen escasas estaciones meteorológicas con información confiable.

En la zona no existen centrales hidroeléctricas, al margen de algunas de pequeña capacidad (microcentrales hidroeléctricas).

ANTECEDENTES

El presente trabajo constituye un resumen de tres estudios similares, desarrollados por el Instituto de Hidráulica e Hidrología, con recursos IDH (Impuesto a los Hidrocarburos) de la Universidad Mayor de San Andrés) UMSA.

Los tres estudios cuentan con tres componentes principales similares:

1. Estudio de los Recursos Hídricos. - En las cuencas delimitadas, se instalaron redes hidrometeorológicas, compuestas básicamente por estaciones hidrométricas y estaciones meteorológicas. Con los datos recabados, información histórica meteorológica de estaciones cercanas y aplicando programas informáticos Precipitación - Escorrentía se generaron caudales de escorrentía, necesarios para el diseño de pequeñas plantas hidroeléctricas y fundamentales para evaluar los potenciales hidroeléctricos en las cuencas.

2. Diseño de Pequeñas Plantas Hidroeléctricas. - Se identificaron ubicaciones apropiadas para el diseño de pequeñas plantas hidroeléctricas y se diseñaron, bajo las siguientes consideraciones:

Plantas en el rango de pequeñas centrales hidroeléctricas, con potencias instaladas menores a 10 MW. Amigables con el medio ambiente, sin presas ni embalses (centrales de derivación). Ubicadas cerca a poblaciones y redes eléctricas existentes, con el objeto de reducir costos de inversión en interconexión eléctrica.

3. Estudio de Potenciales Hidroeléctricos. - El estudio de potenciales hidroeléctricos en cuencas, permite establecer la calidad de estas referida a sus potenciales hidroenergéticos, con respecto a otras. Para su cálculo se consideraron tres indicadores: El Potencial Hidroeléctrico Teórico Bruto P.H.T.B., La Densidad del P.H.T.B., y el Potencial Hidroeléctrico Técnico Aprovechable P.H.T.A. (MUGUERZA, 2003) Contando con esta información, se realizaron mapas temáticos de estos indicadores.

JUSTIFICACIÓN

Estudios recientes establecen el potencial hidroeléctrico del país en 38.000 MW, (CAF, 2018) del cual solo se ha desarrollado el 1.93%. Respecto a la generación hidroeléctrica en pequeña escala (potencia instalada menor a 10 MW), Bolivia no cuenta con estudios de potencial hidroeléctrico y los escasos inventarios existentes muestran lo propio, incipiente desarrollo.

Consiguientemente, los esfuerzos que aporten al desarrollo de la generación hidroeléctrica en gran y en pequeña escala, se justifican considerando los siguientes aspectos:

- El desarrollo de la hidroenergía a cualquier escala en el país, es una importante alternativa a las centrales

térmicas a gas que operan con gas subvencionado a costos menores a los de exportación con la consiguiente pérdida económica para el estado (MONROY CUELLAR, 2015).

- Los altos niveles de contaminación están obligando a los países a reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera. De acuerdo con el Acuerdo de París sobre cambio climático de 2015, se espera que hasta el año 2050 gran parte de los vehículos de transporte tanto livianos como pesados sean eléctricos, por lo que la demanda de energía eléctrica, tanto a nivel mundial como en Bolivia tenderá a incrementarse notablemente.
- En la actualidad se viene estudiando la obtención de hidrógeno verde como combustible no contaminante. Este, obtenido por electrólisis del agua utilizando energías alternativas como la solar, eólica e hidroeléctrica en pequeña escala, es una de las alternativas más prometedoras en la reducción de gases de efecto invernadero.
- En la cuenca de los ríos estudiados no existen estudios de cuantificación de recursos hídricos, hidrológicos, climáticos, de régimen de escorrentía de los ríos ni de potenciales hidroeléctricos, siendo estas zonas parte de las nacientes de la gran cuenca Amazónica del Beni.
- El diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas en la zona, parte componente de los proyectos realizados, constituirá un aporte a los Gobiernos Municipales locales, como base para una futura implementación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Contribuir al desarrollo de los municipios de Pelechuco, Charazani, Curva y Sorata

mediante estudios de recursos hídricos, evaluación de potenciales hidroeléctricos y diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas en cuencas ubicadas en estos municipios.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Elaboración de estudios de hidrología a partir de generación de información primaria.
2. Diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas para la generación de energía limpia.
3. Determinación de potenciales hidroeléctricos.

PROYECTOS REALIZADOS

Los estudios realizados se denominan:

- “ESTUDIO DE POTENCIALES HIDROELECTRICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RIO PELECHUCO Y DISEÑO DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA PILOTO IDENTIFICADA”, municipio de Pelechuco - Provincia Franz Tamayo.
- “INVESTIGACIÓN DE LOS RECURSOS HIDRICOS Y POTENCIALES HIDROELECTRICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RIO CAMATA”, municipios de Charazani y Curva - Provincia Bautista Saavedra.
- “EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO EN CUENCAS GLACIARES DE ALTA MONTAÑA BAJO CONDICIONES DE CAMBIO CLIMATICO”, desarrollado en el municipio de Sorata - Provincia Larecaja.

ESTUDIO DE POTENCIALES HIDROELECTRICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RIO PELECHUCO Y DISEÑO DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA PILOTO IDENTIFICADA

Este estudio se ubica en la cuenca alta del río Pelechuco, en la Provincia Franz Tamayo del Departamento de La Paz, en la Cordillera de Apolobamba.

ESTUDIO DE HIDROLOGÍA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO PELECHUCO

La cuenca delimitada para su estudio a partir de las nacientes del río Pelechuco hacia aguas abajo se ubica entre las coordenadas 14° 43' 20" a 14° 52' 54" de latitud sur y 69° 00' 9" a 69° 11' 24" de longitud oeste (figura 2).

Las nacientes del río Pelechuco se encuentran en las cumbres del nevado Presidente en la cordillera de Apolobamba, a más de 5.000 metros de altura. La superficie de la cuenca delimitada es de 196.84 Km² ubicada Km², y se encuentra en el municipio de Pelechuco. La tabla 1 detalla el área de cada sub cuenca determinada por las cinco estaciones hidrométricas instaladas por el proyecto.

El estudio de hidrología se realizó en base a la división de la cuenca en sub cuencas, en las cuales se calcularon las características morfológicas utilizando modelos digitales de elevación en el contexto SIG. La información con la que se contó fueron datos históricos diarios de precipitación de la estación Pelechuco para el periodo 1976-1986, y datos climatológicos a un paso de tiempo de 10 minutos de: precipitación, temperatura, humedad relativa, viento y radiación solar de dos estaciones meteorológicas instaladas por el proyecto: San José y Katantika. Se obtuvieron también datos de nivel de agua, cada 10 minutos, de cinco estaciones hidrométricas instaladas en los ríos de la cuenca y se realizaron aforos de caudal para

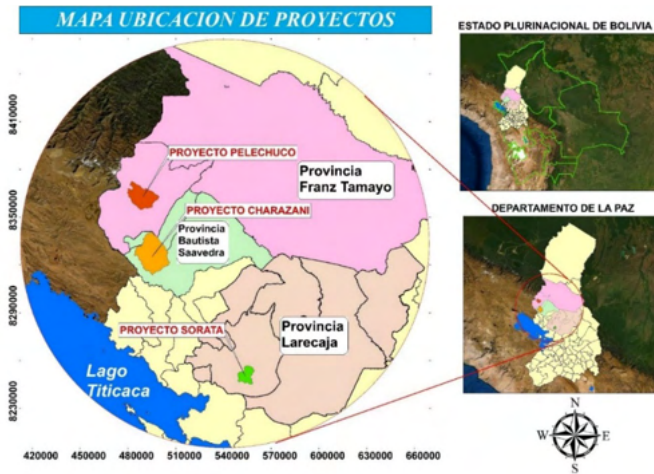


Fig 1. Ubicación geográfica de los estudios.

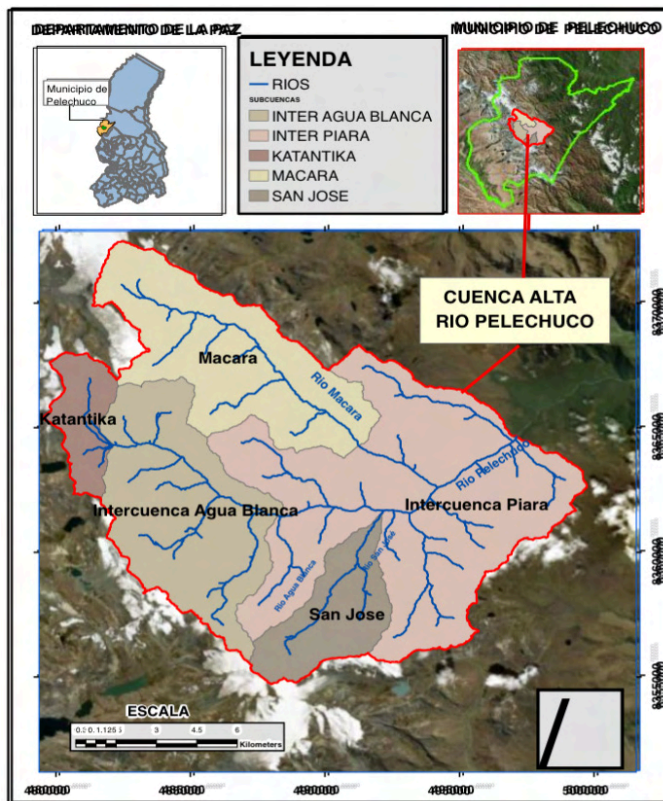


Fig 2. Ubicación de la cuenca alta río Pelechuco.

Sub cuencas	Área (km ²)
Katantika	9.63
Agua Blanca	52.95
San José	17.34
Macara	42.61
Cuenca Total (Piara)	196.84

Tabla 1. Área de las sub cuencas.

generar las curvas de calibración de los ríos.

A partir de los datos hidrometeorológicos, la morfología de la cuenca y empleando información histórica de precipitación de la antigua estación meteorológica de Pelechuco (periodo disponible de 1976 a 1986). se obtuvieron caudales diarios de escorrentía empleando el software precipitación-escorrimento RS-MINERVE. (HERNANDEZ, 2020)

En la figura 3 se observan los caudales de escorrentía generados en las sub cuencas de la cuenca alta del río Pelechuco. Los caudales en la Inter cuenca Piara corresponden a los caudales totales a la salida de la cuenca total.

Para realizar el diseño de la pequeña central hidroeléctrica ubicada sobre el río Macara, tributario del río Pelechuco, se elaboró la Curva de Duración de Caudales de este río y se realizó un estudio de caudales de crecida en esta sub cuenca. necesarios para el diseño de la obra de toma. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 4 y en la tabla 2.

El estudio de caudales de crecida se realizó empleando tres métodos como se muestra en la tabla. Se eligió como caudal de diseño el que proporcionaba valores medios.

DISEÑO DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

En el río Macara, afluente del río Pelechuco, se diseñó una pequeña central hidroeléctrica PCH de derivación sin presa ni embalse, que cuenta con las siguientes obras componentes.

1. Obra de toma de derivación sobre el río Macara.
2. Tubería de aducción entre la obra de toma y el desarenador – cámara de carga
3. Desarenador – cámara de carga.
4. Tubería de presión.
5. Casa de máquinas.
6. Camino de acceso a la casa de máquinas.
6. Subestación de transformación eléctrica de elevación.

La planta hidroeléctrica cuenta con las características técnicas básicas que se detallan

en la tabla 3. El caudal de diseño se adoptó a partir de la Curva de Duración de Caudales.

El salto bruto se generó aprovechando gran parte del desnivel existente en esta pequeña cuenca, ubicándose la casa de máquinas en la confluencia de los ríos Macara y Pelechuco.

Para la realización del estudio de costos de la PCH se elaboraron costos unitarios y cómputos métricos de todos los ítems del proyecto. El costo total asciende a la suma de 4,027,596.40 US\$. Considerando la potencia instalada de 2000 KW, el costo unitario es de 2014 US\$/KW.

ESTUDIO DE POTENCIALES HIDROELÉCTRICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO PELECHUCO

El Potencial Hidroeléctrico Teórico Bruto P.H.T.B., es directamente proporcional al caudal de escurrimiento y a los desniveles existentes en la cuenca. Para su cálculo se utilizó el caudal medio anual obtenido en el estudio hidrológico.

Los desniveles topográficos de la cuenca fueron obtenidos mediante el uso de herramientas SIG. (NASA, 2006) En las figuras 7 y 8 se observan los mapas temáticos correspondientes al P.H.T.B. y Técnico aprovechable P.H.T.A., este último que representa un potencial más real, más factible de aprovechar, y se obtuvo afectando al P.H.T.B. por un índice calculado considerando el P.H.T.B. y la potencia real en el sitio de ubicación donde se diseñó la pequeña central hidroeléctrica.

INVESTIGACIÓN DE LOS RECURSOS HIDRICOS Y POTENCIALES HIDROELECTRICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RIO CAMATA

El proyecto se ha realizado en la cuenca alta del río Camata, Provincia Bautista Saavedra del Departamento de La Paz, en la Cordillera de Apolobamba.

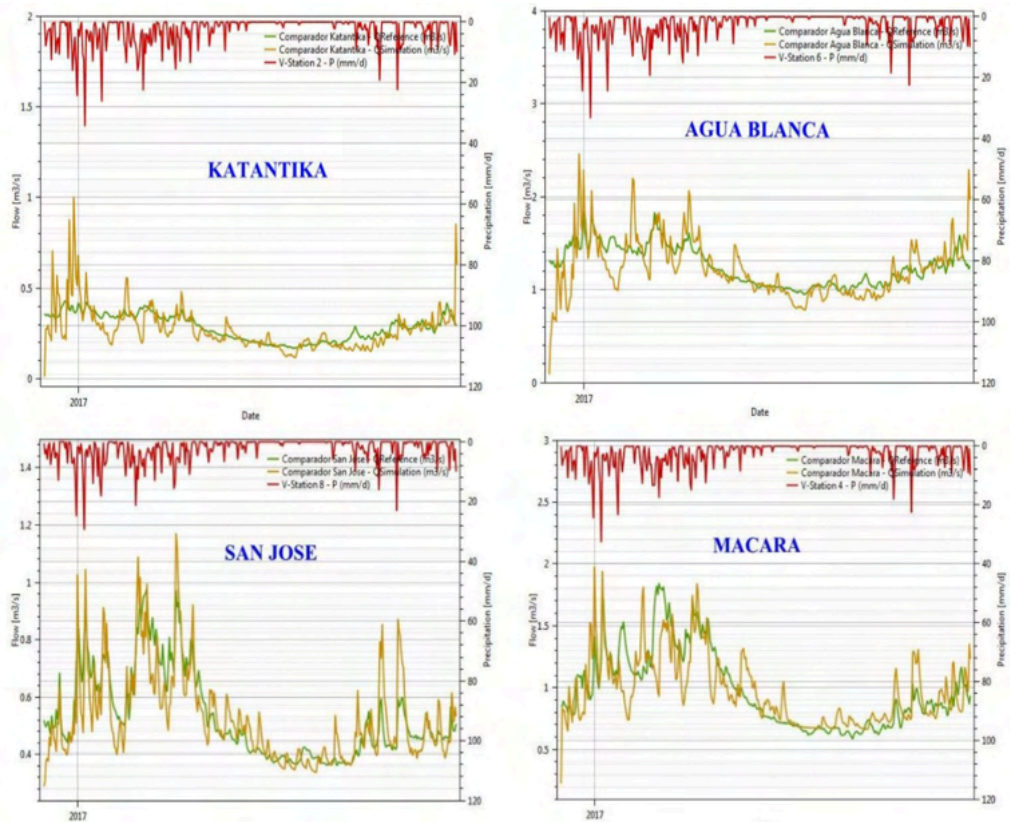


Fig 3. Caudales diarios generados en las sub cuencas de la cuenca alta del río Pelechuco.

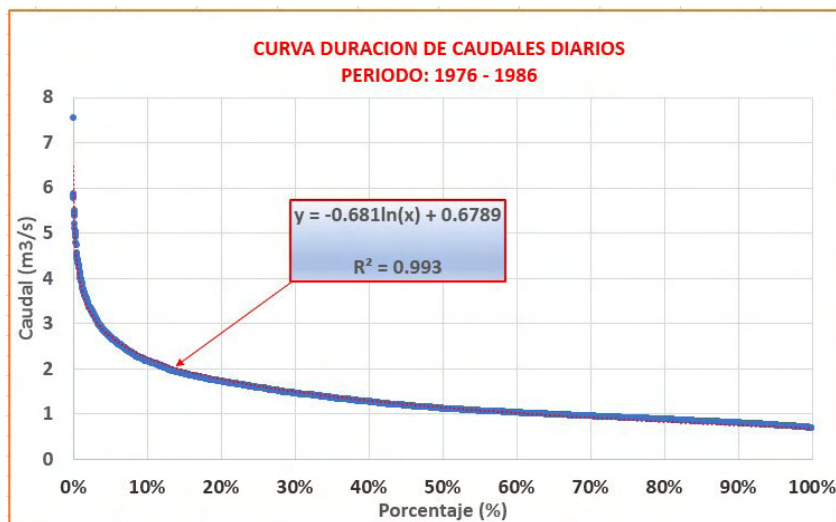


Fig 4. Curva duración de caudales diarios (m³/s).

Cuenca	Periodo de Retorno (años)	Modelo SCS (m³/s)	Modelo Win TR 55 (m³/s)	Modelo HEC HMS 4.0 (m³/s)	Caudal Elegido (m³/s)
Macara	10	12.71	25.42	18.50	18.50
Macara	25	19.49	36.95	28.30	28.30
Macara	50	26.15	46.51	38.00	38.00

Tabla 2. Caudales de crecida cuenca río Macara.

Caudal de diseño	0.74 m ³ /s
Salto bruto H _b	325.37 m
Salto neto H _n	309.21 m
Potencia eje turbina P _e	2085 KW
Potencia instalada P _i	2000 KW
Factor de planta F _p	0.7
Energía anual generada E _a	12118 MWh/año

Tabla 3. Características técnicas PCH.



Fig 5. Emplazamiento de la obra de toma, en río Macara.

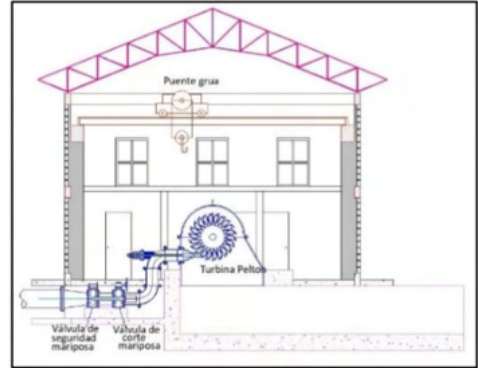


Fig 6. Casa de máquinas equipada con el una turbina tipo Pelton.

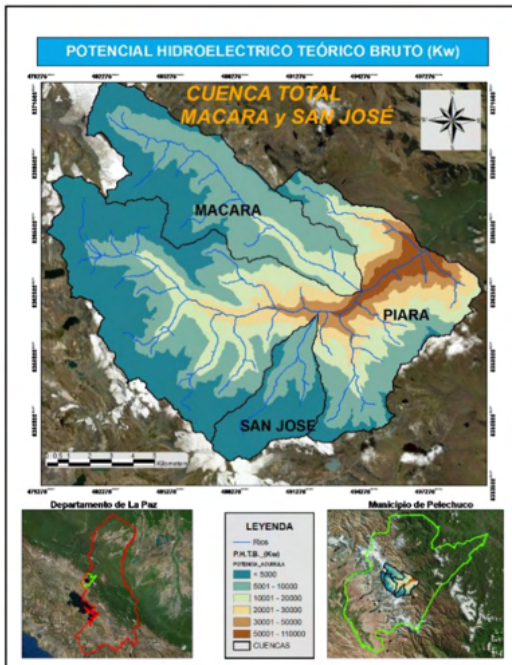


Fig 7. Potencial Hidroeléctrico Teórico Bruto P.H.T.B.

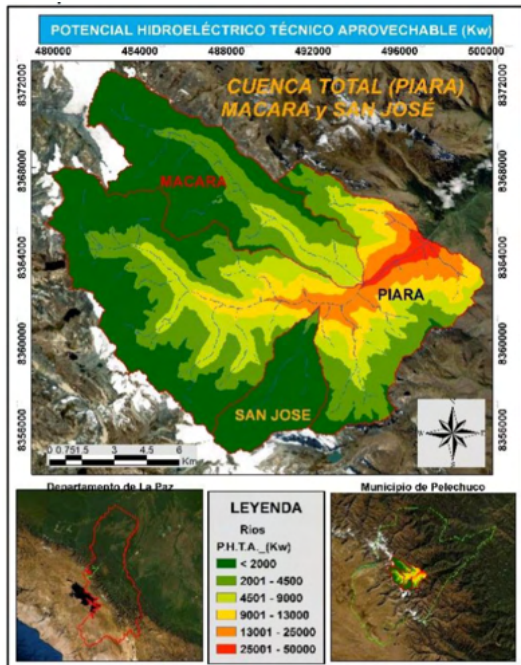


Fig 8. Potencial Hidroeléctrico Técnico Aprovechable P.H.T.A.

ESTUDIO DE HIDROLOGÍA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO CAMATA

La Cuenca alta del río Camata, se encuentra ubicada en el departamento de La Paz en la provincia Bautista Saavedra Municipios de Curva y Charazani en la cordillera de Apolobamba El estudio se extiende desde las cabeceras de cuenca (15°00'30"S, 69°08'58"O, 5000 msnm) hasta 40 km aguas abajo (15°15'11"S, 68°56'22"O, 2770 msnm) con un área aproximada de 348 km².

En la cuenca delimitada se instalaron cuatro estaciones hidrométricas en los ríos Caalaya, Curva, Charazani y en el Puente 1 a la salida de la cuenca y una estación meteorológica en la población de Curva. Se recabó información hidrometeorológica por el periodo de un año. Con la información recabada e información histórica proveniente de las estaciones meteorológicas de Charazani, Camata y Cañuma, se generaron caudales diarios empleando el software R.S. Minerve. En la figura 9 y 10 se observan la ubicación de la cuenca delimitada con sus sub cuencas y los caudales generados.

En la sub cuenca Caalaya se ubicó la Pequeña Central Hidroeléctrica. Para su diseño, se generó la Curva de Duración de Caudales que permite elegir el caudal de diseño de la planta. A partir de un estudio de eventos extremos, se calcularon los caudales de crecida para diferentes periodos de retorno empleando tres metodologías. El caudal de crecida se requiere para el diseño de la obra de toma de la central hidroeléctrica.

La información hidrométrica generada, principalmente los caudales medidos en los ríos Caalaya, Charazani, Curva, y en la unión de estos en la estación Puente 1, constituyen información muy importante para la realización de proyectos de aprovechamiento de los recursos hídricos: proyectos de agua potable, riego y generación hidroeléctrica.

DISEÑO DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

La Pequeña Central Hidroeléctrica se diseñó sobre el río Caalaya en las proximidades de la población de Curva. Se trata de una central hidroeléctrica de derivación sin presa ni embalse, que cuenta con las siguientes obras componentes:

1. Obra de toma sobre el río Caalaya.
2. Tubería de aducción.
3. Desarenador cuya función es separar los sedimentos que entran por la toma.
3. Cámara de carga.
4. Tubería de presión
5. Casa de máquinas.
6. Sub estación eléctrica de transformación.

La disposición de obras sobre una imagen satelital se muestra en la figura 11. El presupuesto general, asciende a la suma 2,293,156.94 US\$. Considerando la potencia instalada de 740 kW., el costo unitario asciende a la suma de 3,098 US\$/kW.

ESTUDIO DE POTENCIALES HIDROELÉCTRICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO CAMATA

Contando con los caudales de escurrimiento y los desniveles en la cuenca, utilizando imágenes satelitales, se determinaron el Potencial Hidroeléctrico Teórico Bruto P.H.T.B., la Densidad del Potencial Hidroeléctrico Teórico Bruto y el Potencial Hidroeléctrico Técnico Aprovechable.

Con la información obtenida, se elaboraron mapas temáticos que permiten apreciar y cuantificar estos indicadores en una escala de colores con sus correspondientes valores numéricos.

EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO EN CUENCAS GLACIARES DE ALTA MONTAÑA BAJO CONDICIONES DE CAMBIO CLIMATICO

El estudio se realizó en la comunidad de Cooco, en el municipio de Sorata,

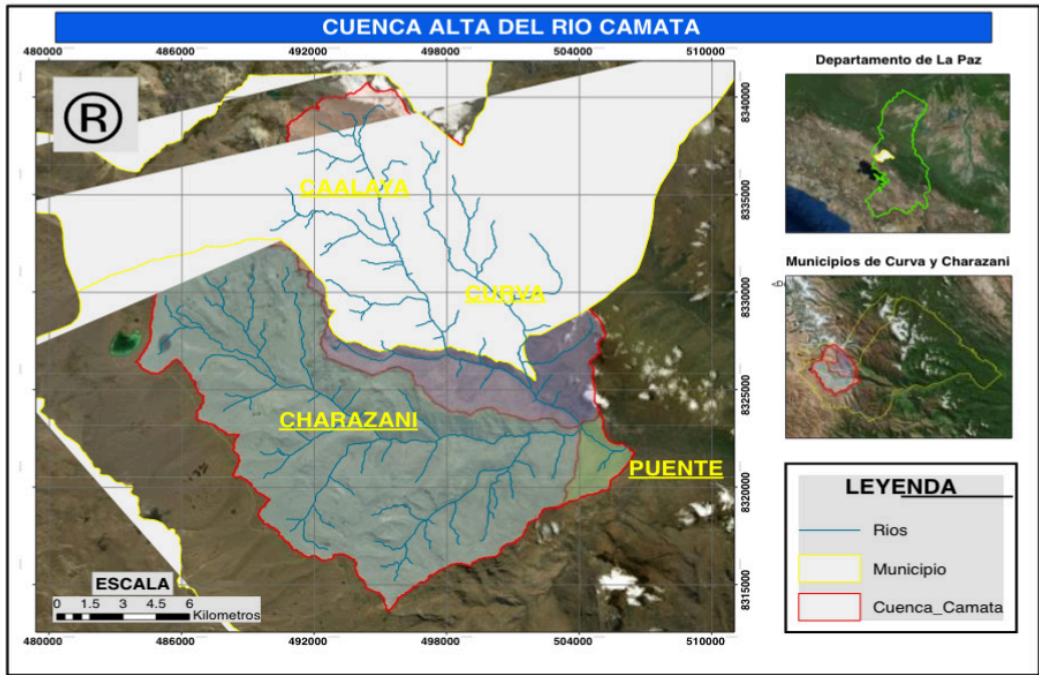
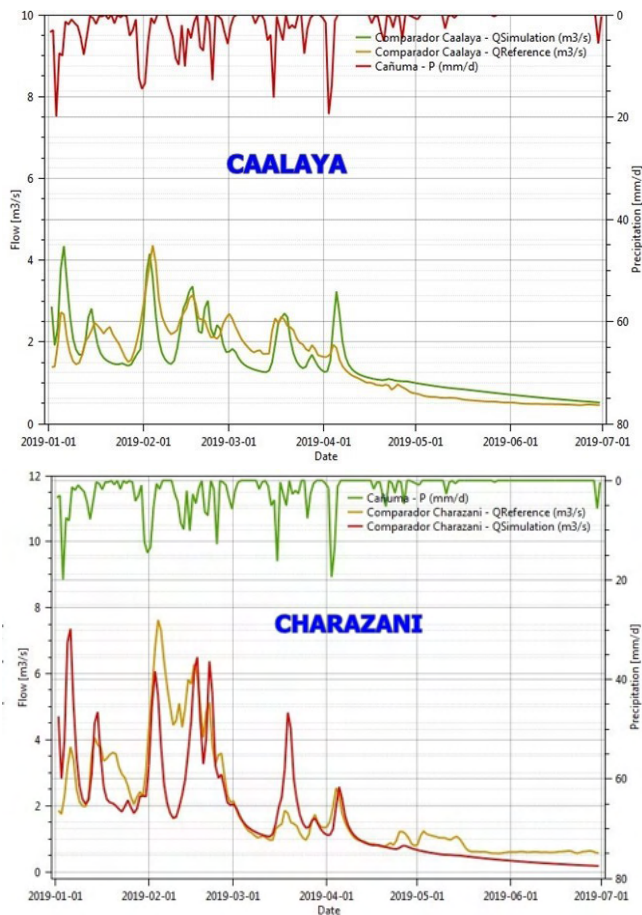


Fig 9. Ubicación cuenca alta del río Camata.



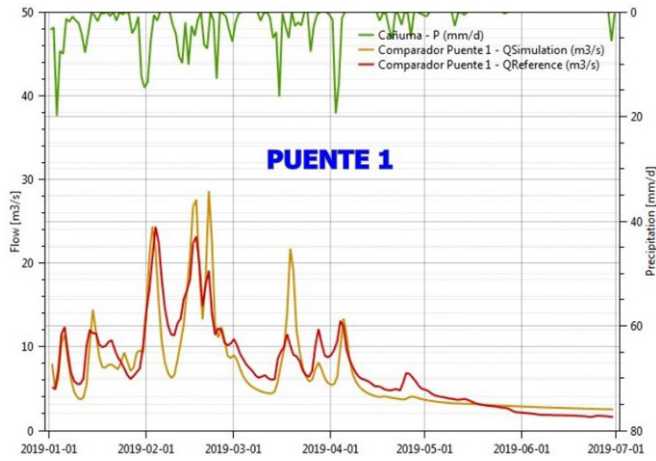


Fig 10 Caudales generados por sub cuencas.

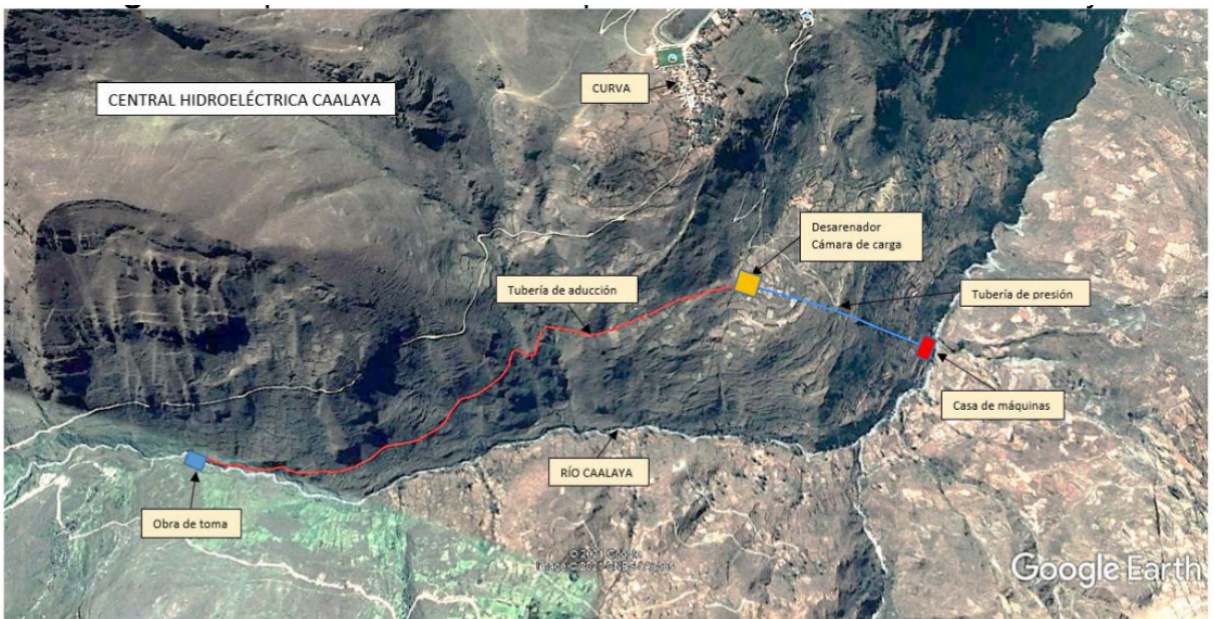


Fig. 11. Disposición de obras Pequeña Central Hidroeléctrica Caalaya.

Caudal de diseño	0.31 m ³ /s
Salto bruto H_b	279.36 m
Salto neto H_n	272.35 m
Potencia eje turbina P_e	779 KW
Potencia instalada P_i	740 KW
Factor de planta F_p	0.7
Energía anual generada E_a	4179 MWh/año

Tabla 4. Datos técnicos generales.



Fig 12. Ubicación de la obra de toma.

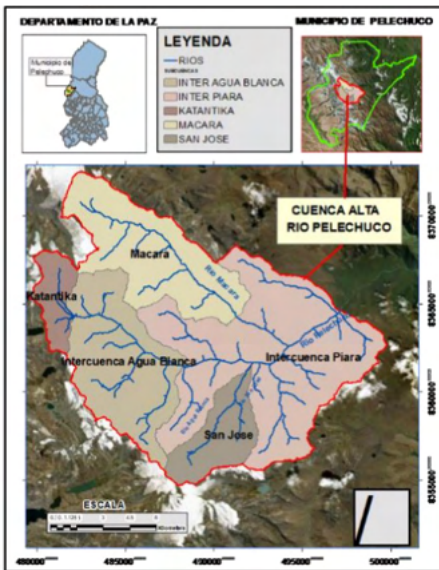


Fig 13. Cuenca Camata.

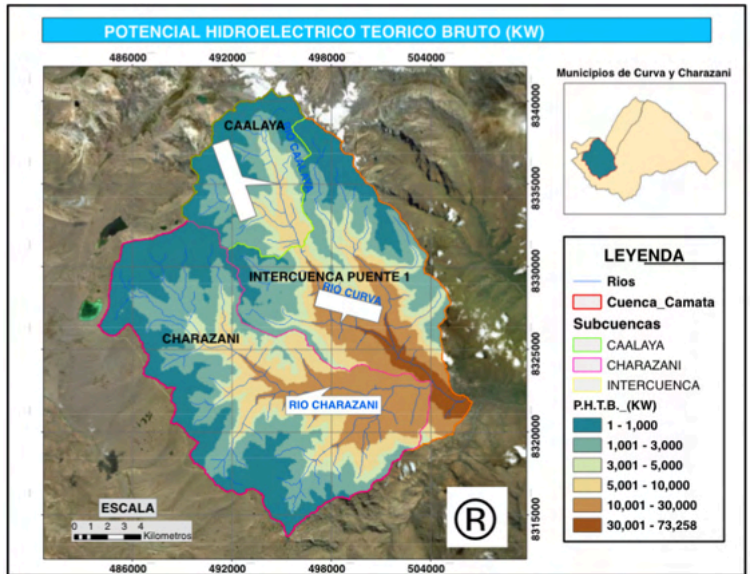


Fig 14. Potencial Hidroeléctrico Teórico.

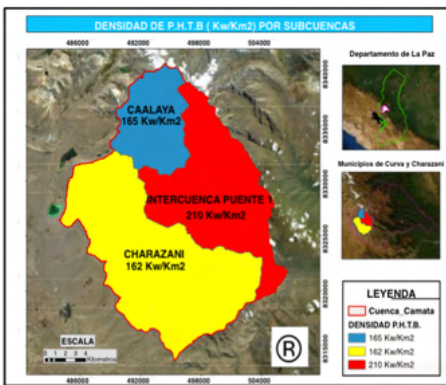


Fig 15. Densidad del P.H.T.B.

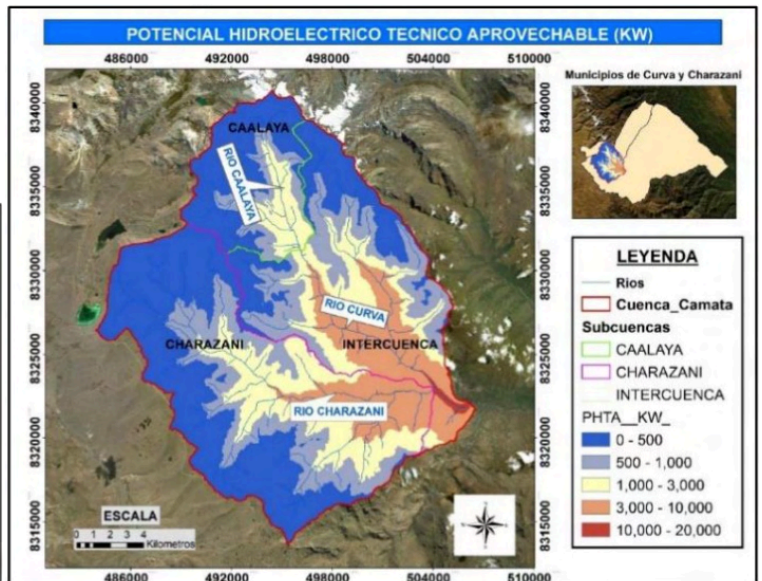


Fig 16. Potencial P.H.T.A.

Departamento de La Paz a los pies del nevado Illampu de la cordillera Real.

ESTUDIO DE HIDROLOGÍA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO COOCO

Para realizar el estudio hidrológico, se instaló una red de monitoreo con estaciones hidrometeorológicas: una estación meteorológica instalada en la población de Cooco y cuatro hidrométricas en los ríos de la cuenca, monitoreándola durante el tiempo de un año.

La información obtenida en la red de monitoreo e información histórica proveniente de la estación meteorológica de Sorata (periodo 1943 – 2019) permitieron obtener caudales diarios de escorrentía realizando un balance hídrico de la cuenca. En la cuenca del río Charituta, afluente del río Cooco, donde se diseñó la Pequeña Central Hidroeléctrica, se elaboró la Curva de Duración de Caudales, necesaria para elegir el caudal de diseño de la planta y se realizó un estudio de caudales de crecida, necesario para diseñar la obra de toma de la planta hidroeléctrica.

DISEÑO DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

La Pequeña Central Hidroeléctrica se diseñó sobre el río Charituta. La central, en forma similar a las anteriores es una central de derivación sin presa ni embalse y cuenta con las mismas obras componentes que las anteriores.

En la obra de toma se han incorporado el desarenador y la cámara de carga.

ESTUDIO DE POTENCIALES HIDROELÉCTRICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO COOCO

Los indicadores adoptados para la determinación del potencial hidroeléctrico en la cuenca, fueron el Potencial Hidroeléctrico Teórico Bruto P.H.T.B., la Densidad del P.H.T.B. y el Potencial Hidroeléctrico Técnico Aprovechable P.H.T.A., siendo este último

más factible técnicamente de implementar. Con los resultados obtenidos se elaboraron mapas temáticos de potenciales.

El P.H.T.B. es un valor teórico que considera que todo el caudal de escurrimiento se aprovechará únicamente para fines de generación. No consideran una serie de pérdidas que se producen en las centrales hidroeléctricas ni limitaciones topográficas, geológicas y socioeconómicas que puedan existir. Este indicador es válido para estimar la calidad de la cuenca en comparación con otras evaluadas similarmente. (BELMONTE,2007)

El P.H.T.A. que se calcula aplicando al P.H.T.B. factores de reducción relacionados con la Densidad, es más factible de implementar técnicamente, aunque supone también que todo el caudal disponible se utilizará para la producción de energía y no considera otras limitaciones. El P.H.T.A es un indicador más cercano a la realidad que el P.H.T.B. (BELMONTE,2007)

RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES

ESTUDIOS DE HIDROLOGÍA

- Se han instalado redes hidrometeorológicas compuestas por estaciones hidrométricas y meteorológicas en áreas donde la información, principalmente hidrométrica era inexistente. Esta información permite conocer mejor el comportamiento hidroclimático de estas regiones.
- La información de caudales de escorrentía obtenidos en los ríos constituye información muy útil para futuros diseños de proyectos de aprovechamiento de los recursos hídricos en la zona: proyectos de riego, agua potable, generación hidroeléctrica.
- Las cuencas estudiadas constituyen parte de las nacientes de la gran cuenca

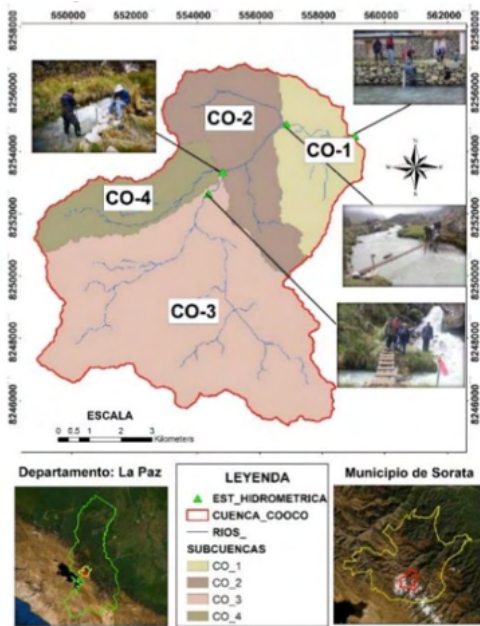


Fig 17. Cuenca alta del río Cocho.

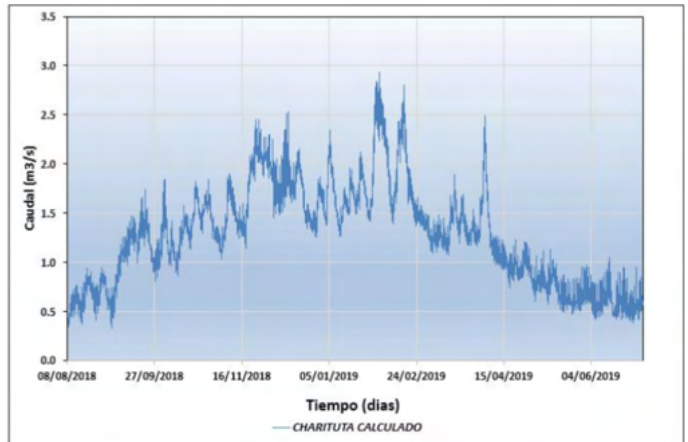


Fig 18. Hidrograma de caudales río Charituta.



Fig 19. Disposición de obras elaborado sobre una imagen satelital.

Caudal de diseño	0.65 m ³ /s
Salto bruto H_b	455.62 m
Salto neto H_n	440 m
Potencia eje turbina P_e	2637 KW
Potencia instalada P_i	2505 KW
Factor de planta F_p	0.7
Energía anual generada E_a	14701 MWh/año

Tabla 5. Datos técnicos generales de la planta.

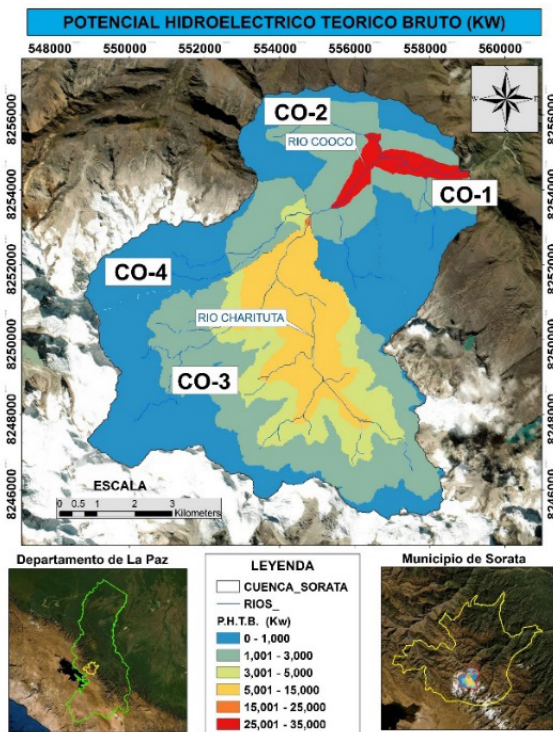


Fig 20. Potencial Hidroeléctrico Bruto P.H.T.B.

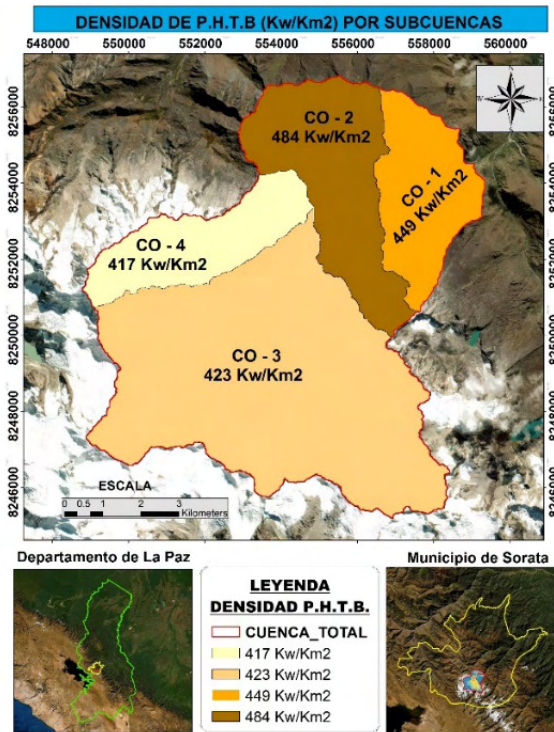


Fig 21. Densidad del P.H.T.B.

Amazónica del Beni, por lo que estos estudios pueden aportar en futuros estudios en esta gran cuenca, donde la información hidrológica es escasa.

- Las cuencas estudiadas son similares tanto morfológicamente como como en su comportamiento hidrometeorológico.

PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

- Las PCHs diseñadas cuentan con estudios topográficos, estimaciones geológicas, estudios geotécnicos, estudios de instalaciones y sub estaciones eléctricas, estudios estructurales, estudios de costos y presupuestos, especificaciones técnicas, estudios socioeconómicos y de factibilidad económica financiera.
- las centrales de Macara y de Cooco tienen potencias instaladas mayores:

2000 KW y 2505 KW respectivamente y la de Caalaya solo 740 KW. Esto se debe al menor salto y oferta de caudal del río Caalaya.

- Estudios a nivel mundial en centrales hidroeléctricas muestran que un intervalo de costos óptimo es: 1.000 a 3.000 US\$/KW (D. y. C., 2003), cuanto menor es la central mayor el costo unitario. Las centrales de Macara y Cooco tienen costos muy interesantes: 2.014 \$us/kW. y 1.718 \$us/kW. y la de Caalaya con 3.098 \$us/kW. muy cerca del rango óptimo.
- Los estudios de demanda de energía de los municipios muestran baja demanda, que puede ser cubierta por la potencia generada en estas centrales incluso en un periodo de vida de 30 años. En consecuencia, los excedentes pueden ser comercializados a la red interconectada nacional.

ESTUDIO DE POTENCIALES HIDROELÉCTRICOS

- En las tres cuencas estudiadas, se han elaborado mapas temáticos de potenciales hidroeléctricos. Los mapas muestran la distribución geográfica de los potenciales en base a colores que corresponden numéricamente a escalas de potenciales.
- El indicador que permite comparar efectivamente la calidad de las cuencas en cuanto a su potencial hidroenergético es la Densidad. Las cuencas de Pelechuco y Sorata con 544 kW/km² y 484 kW/km² muestran densidades cercanas y la de Camata con 210 kW/km² comparativamente menor que la mitad. Este factor es importante para la toma de decisiones en cuanto a la planificación del desarrollo hidroenergético de la región.
- El estudio de potenciales hidroeléctricos muestra valores altos en las cuencas altas de Pelechuco y Cooco confirmando estudios generales de potenciales realizados en Bolivia. La cuenca alta de Camata, de menor valor, es también muy interesante con relación a otras regiones.

REFERENCIAS

Belmonte, S. et al. **Estimación del Potencial Hidráulico Para Generación de Energía Eléctrica Por Microturbinas Mediante Herramientas SIG - Valle de Lerma (salta)**. *AVEREMA*, p. 8. (2007).

CAF BANCO DE DESARROLLO DE AMÉRICA LATINA. **caf.com/noticias/10 nuevos proyectos hidroeléctricos podrían generar 1500 mw en bolivia**. [En línea] Available at: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2018/07/10-nuevos-proyectos-hidroelectricos-podrian-generar-1500-mw-en-bolivia-segun-estudio-de-caf/> [Último acceso: 5 septiembre 2020]. (2018).

D. y. C. **Estimation of economic parameters of U.S. hydropower resources. United States**. [En línea] Available at: [Último acceso: 15 noviembre 2018]. (2003).

HERNÁNDEZ, J. G. *et al.* **RS Minerve - Technical Manual v2.25**. (April):156. (2020).

MONROY CUELLAR, J. L.; MONTAÑO GONZALES, E. **Hidrogeneración en Pequeña Escala-Una Experiencia Local- Programa Hidroenergético**. 1 ed., La Paz Bolivia, ESPRIT S.R.L. (2015) ISBN 978-99974-868-0-6.

MUGUERZA, D. **Microcentrales Hidroeléctricas**. [En línea] Available at: <http://www.exa.unne.edu.ar/fisica/maestria/modulo2/microturbinas/apuntemch.pdf> [Último acceso: 12 enero 2019]. (2003).

NASA. [En línea] Available at: <http://srtm.usgs.gov> [Último acceso: 10 enero 2019]. (2006)

RUTHS, G. **Planificación Energética Rural para Bolivia**. Technical Report, Organización de Estados Americanos OEA. Ministerio de Energía e Hidrocarburos MEH, La Paz, Bolivia. (1990).

VICEMINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS VMEEA.. [En línea] Available at: <https://www.minenergias.gob.bo/wp-content/uploads/2019/10/VMEEA.pdf> [Último acceso: 5 septiembre 2020]. (2020).