

## PROCESAMIENTO Y CORRECCIÓN DE LAS SERIES HIDROMÉTRICAS SUB-HORARIAS DE LA CUENCA DEL RÍO ROCHA

## PROCESSING AND CORRECTION OF SUB-HOURLY HYDROMETRIC SERIES OF THE ROCHA RIVER BASIN

**Mauricio F. Villazón, Leónidas Guzmán**

*Laboratorio de Hidráulica*

*Universidad Mayor de San Simón*

*sergioleonidasg@gmail.com*

(Recibido el 7 de mayo 2024, aceptado para publicación el 5 de junio 2024)

### RESUMEN

La cuenca del río Rocha es una de las cuencas más importantes del departamento de Cochabamba pues en ella alberga aproximadamente 76% de la población del departamento, El río Rocha es un ecosistema urbano pues se encuentra situado dentro de la ciudad. Debido a su accidentado relieve topográfico se genera una gran cantidad de caudal en la época de lluvia. Por otra parte, en la época seca este río presenta un pequeño caudal proveniente de las descargas líquidas, residuales domésticas y/o industriales. El objetivo de este trabajo fue obtener series continuas de caudales en 3 secciones del río Rocha a un nivel sub horario para el periodo 15-dic-2017 a 27-abr-2023 esto realizando la recopilación, procesamiento y donde fue necesario las correcciones necesarias a los niveles medidos para posteriormente convertirlos en caudales mediante curvas H-Q. Una vez obtenidos los caudales estos junto a la precipitación fueron usados para el cálculo de los coeficientes de escurrimiento de las 3 subcuencas de estudio (el Abra, puente Cajón y puente Pico de Loro) obteniendo valores de 4.5%, 5.4% y 19% respectivamente, también se presenta el resultado de un análisis de extremos empírico para un periodo de retorno de 5 años con caudales medidos cada 15 min obteniendo caudales de hasta 16 m<sup>3</sup>/seg para la estación El Abra, 52 m<sup>3</sup>/seg para la estación Puente Cajón y 64 m<sup>3</sup>/seg para la estación Pico de Loro.

**Palabras Clave:** Conservación de la Recesión, Río Rocha-Cochabamba, Serie Continua de Caudales Sub Horarios, Curva de Descarga.

### ABSTRACT

The Rocha River basin is one of the most important basins in the department of Cochabamba because it is home to approximately 76% of the department's population. The Rocha River is an urban ecosystem because it is located within the city. Due to its rugged topographic relief, it generates a large amount of water during the rainy season. On the other hand, during the dry season, this river has a small flow from liquid discharges, domestic and/or industrial wastewater. The objective of this work was to obtain continuous series of flow rates in 3 sections of the Rocha River at a sub-hourly level for the period 15-Dec-2017 to 27-Apr-2023 by collecting, processing and, where necessary, making the necessary corrections to the measured levels to later convert them into flow rates by means of H-Q curves. Once the flow rates were obtained, these together with the precipitation were used to calculate the runoff coefficients of the 3 sub-basins of study (El Abra, Cajón bridge and Pico de Loro bridge), obtaining values of 4.5%, 5.4% and 19% respectively. The results of an empirical extremes analysis for a return period of 5 years with flows measured every 15 min are also presented, obtaining flows of up to 16 m<sup>3</sup>/sec for the El Abra station, 52 m<sup>3</sup>/sec for the Puente Cajón station and 64 m<sup>3</sup>/sec for the Pico de Loro station.

**Keywords:** Recession Conservation, Rocha-Cochabamba River, Continuous Series of Sub-hourly flows, Discharge Curve.

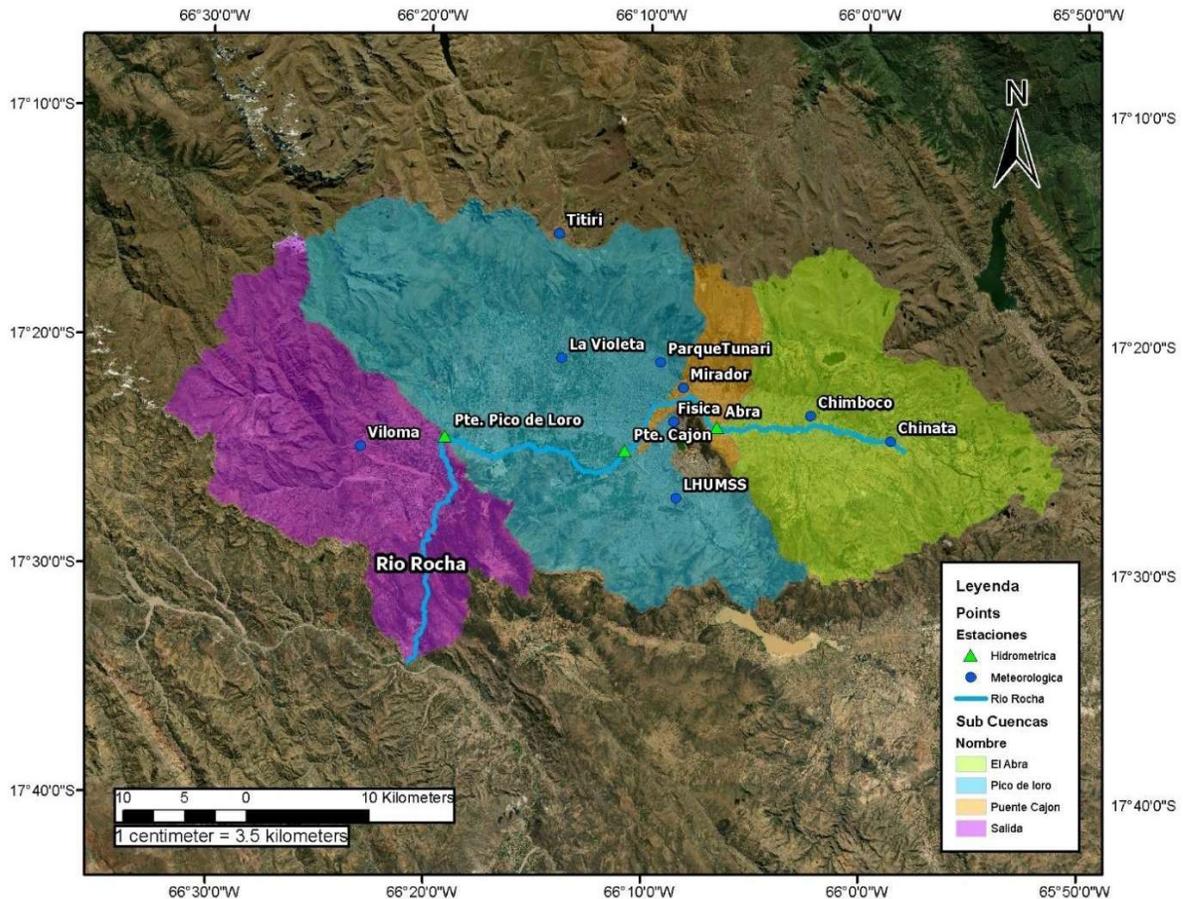
### 1. INTRODUCCIÓN

El coeficiente de escurrimiento de una cuenca RR (Runoff Ratio) es la relación que existe entre la lluvia que cae en un determinado periodo de tiempo, y los caudales que salieron de la misma cuenca para el mismo periodo de tiempo, este parámetro nos permite entender de mejor manera el funcionamiento de la cuenca de estudio conociendo la proporción de la precipitación aportada al caudal del río y cuanta es la pérdida debida a la evaporación, evapotranspiración, otros usos o infiltración profunda a acuíferos. Si graficamos el flujo acumulado versus la precipitación acumulada para los datos disponibles, la pendiente se puede interpretar como el coeficiente de escurrimiento RR, igual a la relación entre escurrimiento total y precipitación total [6].

La cuenca del río Rocha perteneciente a la cuenca del río Grande, nace entre los 17°15' de latitud sud y los 65°52' de longitud oeste, extendiéndose por las zonas UTM 19 y 20 S, ocupa un área aproximadamente 1616 km<sup>2</sup>. Comprende

las cuencas hidrográficas correspondientes a las áreas conocidas como Valle de Sacaba, Valle Central o Cercado y Valle Bajo [3], ver Figura 1.

Este estudio pretende procesar las series hidrométricas y calcular sus respectivos caudales y a partir de ellos estimar los coeficientes de escurrimiento y un análisis de extremos empírico en tres subcuencas que forman parte de la cuenca del Río Rocha para un periodo de tiempo de diciembre 2017 a abril de 2023, para cumplir con este propósito se realizaron los siguientes pasos: recopilar y procesar información hidrometeorológica, calibración y ajuste de las curvas de descarga para la obtención de los caudales en las tres subcuencas de estudio.



**Figura 1:** Cuenca del Río Rocha.

Fuente: Elaboración propia con base a ALOSPALSAR de 12.5 m.

## 2. METODOLOGÍA

El punto de partida para la realización de este estudio fue la recopilación de la mayor cantidad información hidrometeorológica posible, esto gracias al monitoreo constante de instrumentos por parte de instituciones como el Laboratorio de Hidráulica de San Simón (LHUMSS), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y el Departamento de la carrera de Física de San Simón, en total se usaron los datos de 12 estaciones meteorológicas y 3 estaciones hidrométricas ubicadas sobre el Río Rocha. Todos estos instrumentos se encuentran ubicados dentro la cuenca del río Rocha [1] y recopilan datos a una escala sub horaria.

A partir de la información hidrometeorológica recolectada, algunas estaciones presentaban vacíos menores los cuales fueron rellenados utilizando el método de la regresión lineal simple con los datos de la estación cercana más correlacionada, el relleno se realizó a nivel diario. Del procesamiento de la información meteorológica se logró conformar series continuas de precipitación diaria para el periodo de diciembre 2017 a abril 2023. A estas se aplicó polígonos de Thiessen sobre las subcuencas de interés obteniendo la precipitación para las subcuencas de El Abra, Puente Cajón y Pico de Loro.

Los niveles de la estación Puente Pico de Loro y Puente Cajón están registrados cada 15 min de forma inicial, los mismos fueron procesados para llevarlos a niveles horarios y a niveles diarios mediante un promedio aritmético simple.

Los niveles de la estación El Abra están registrados y procesados de la misma manera que las estaciones Pico de Loro y Puente Cajón. Sin embargo, al contar con registros incompletos e incluso nulos para los años 2021 y 2022 se procedió a completar dichos registros faltantes con los niveles de la estación Puente Siles (estación que se encuentra aguas abajo a menos de 2km de distancia) aplicándose un factor de corrección y comprobando su homogeneidad. A continuación, en la Figura 2 se muestra la similitud entre los niveles de El Abra y el puente Siles para un periodo en común aplicando el factor de corrección.

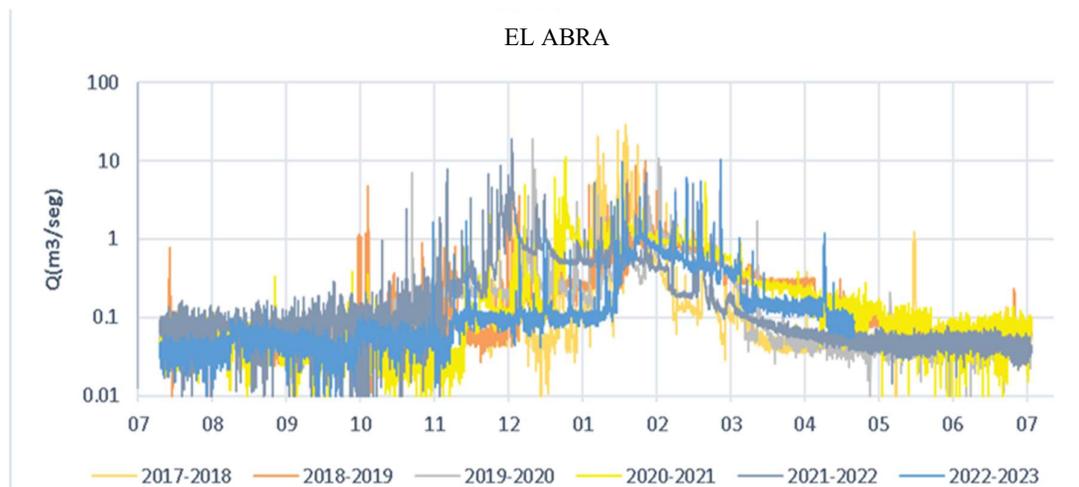


**Figura 2:** Homogeneidad de niveles El Abra vs Pte. Siles.

Fuente: Elaboración propia.

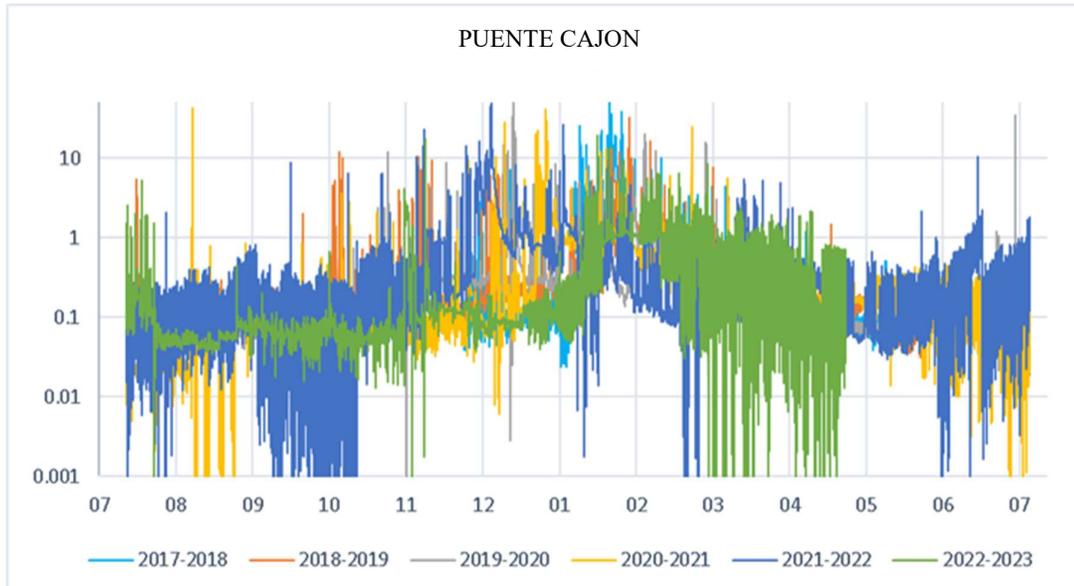
Posteriormente, se calcularon las series continuas de caudal en las estaciones del puente Abra, puente Cajón y el puente Pico de Loro, para los cuales se determinó las curvas de descarga (H-Q) elaboradas en base a campañas de aforo, medición de caudales en campo en las diferentes épocas del año. Estas series fueron procesadas y también fueron mejoradas aplicando la técnica de Conservación de la Recesión. Partimos de la hipótesis de que las cuencas deben mantener una recesión constante en el tiempo en especial para el flujo base y el intermedio. Las Figuras 3, 4 y 5 muestran las series multianuales en año hidrológico de las estaciones bajo estudio, donde puede verse que después del procesamiento y aun cuando existiera un ruido propio de la instrumentación es identificable un periodo de recesión en escala semilogarítmica.

Posteriormente, se realizó un filtrado a las series de caudales para las estaciones hidrométricas con la herramienta Subflow Filtering del WETSPRO (Water Engineering Time Series Processing Tool) [2], obteniendo como resultados los coeficientes de recesión de: 48 días para el puente Pico de Loro, 45 días para el puente Cajón y 40 días para el Abra. Posteriormente se calcularon los picos de caudales sobre un umbral denominados POT's, está basado en las series de 15 minutos de delta. Las Figuras 6, 7 y 8 muestran las series continuas cada 15 minutos y los picos seleccionados.

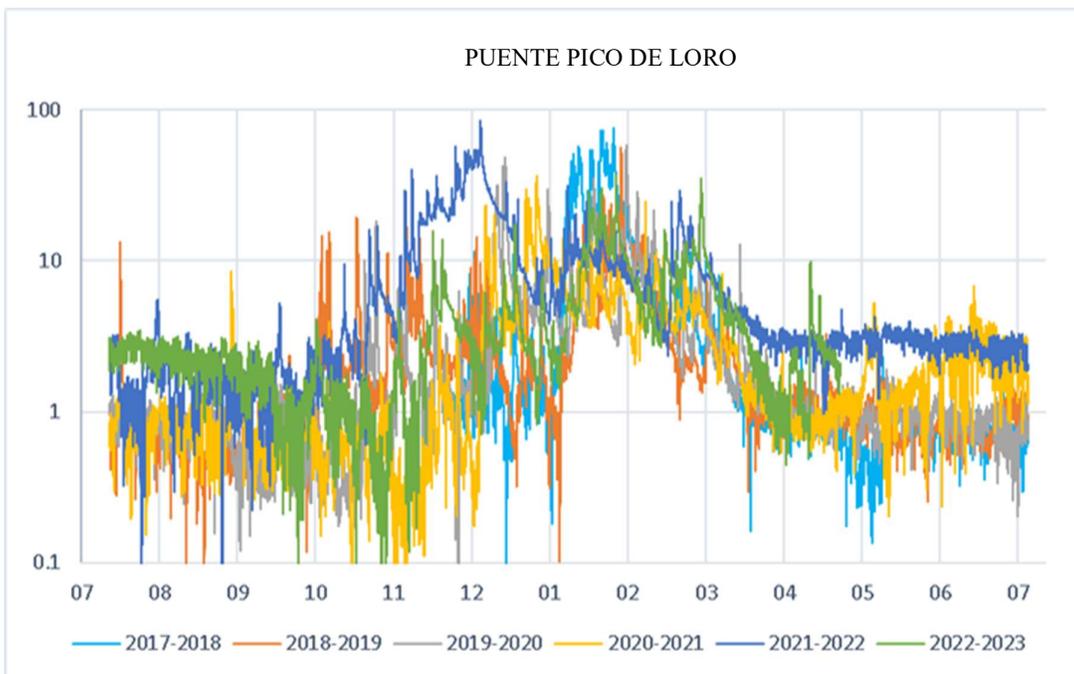


**Figura 3:** Recesión estación el Abra.

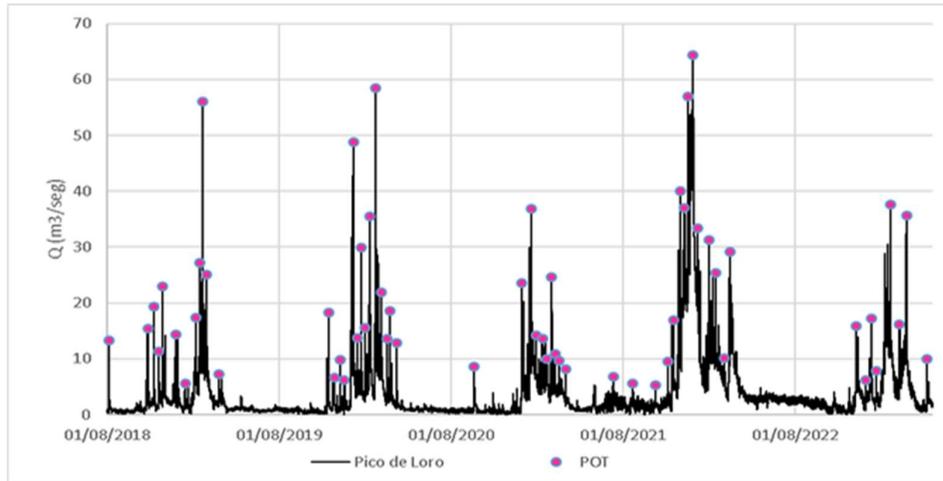
Fuente: Elaboración propia.



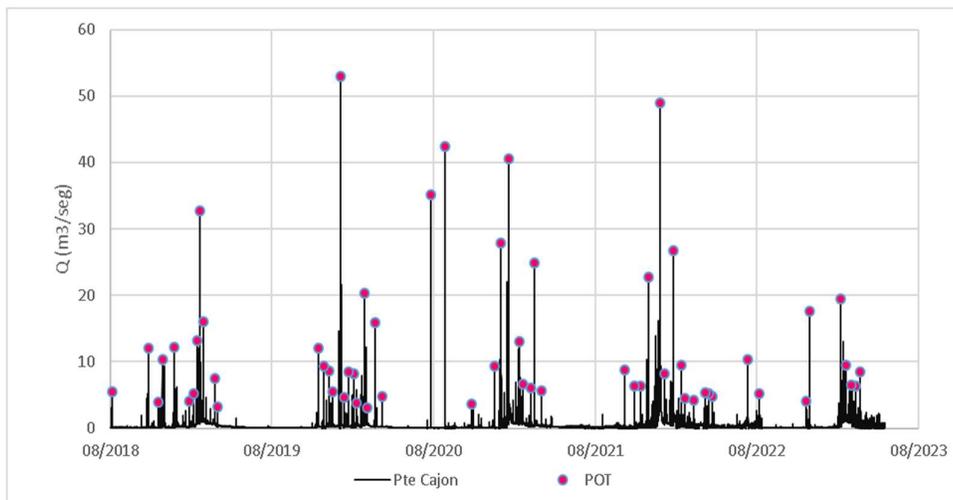
**Figura 4:** Recesión estación puente Cajón.  
**Fuente:** Elaboración propia.



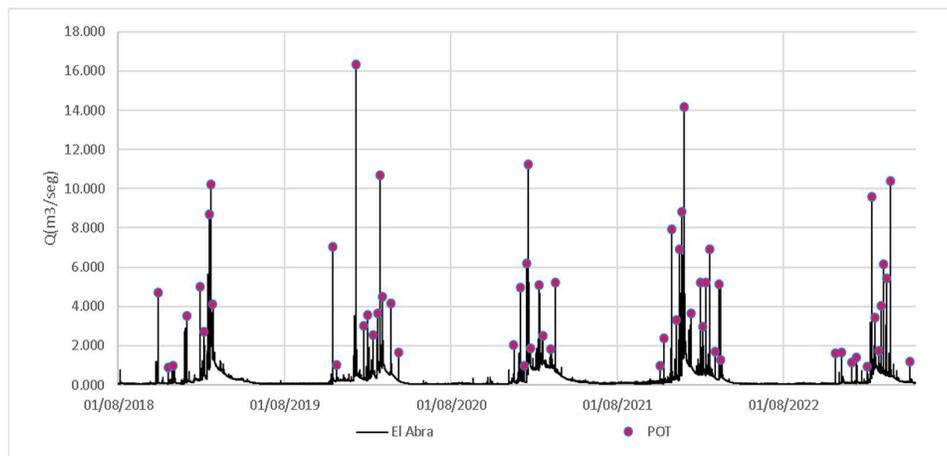
**Figura 5:** Recesión estación puente Pico de Loro.  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 6:** POT's Pico de Loro.  
Fuente: Elaboración propia.



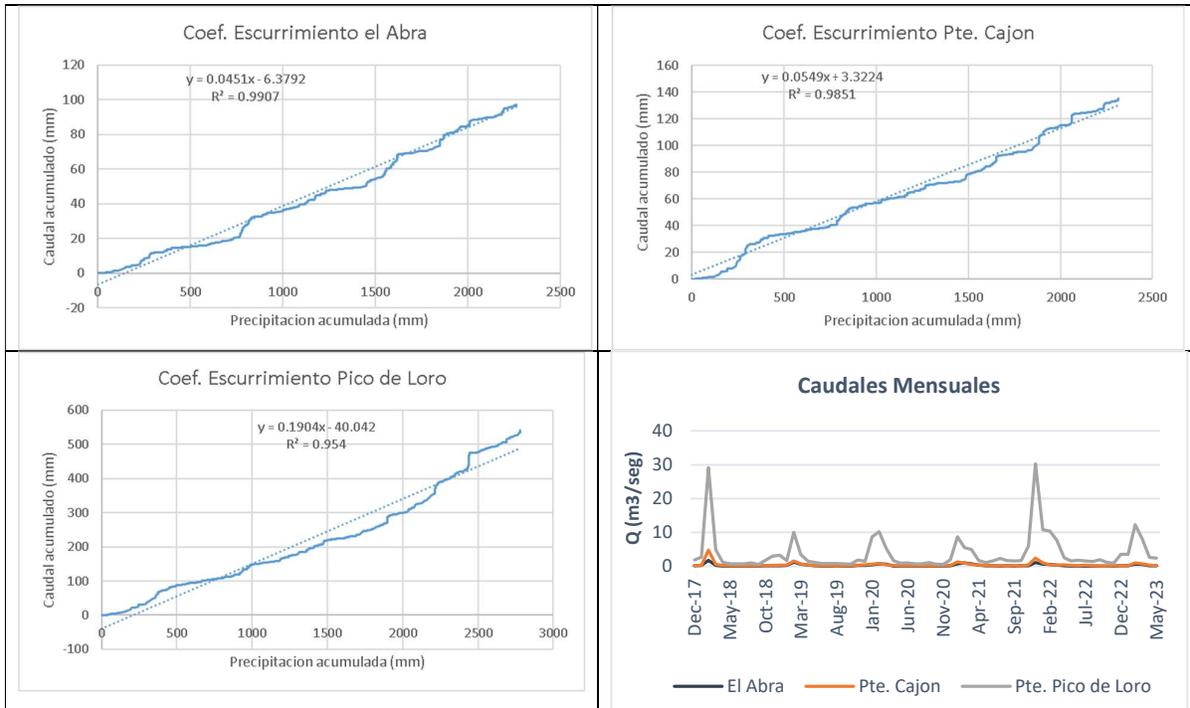
**Figura 7:** POT's puente Cajón.  
Fuente: Elaboración propia.



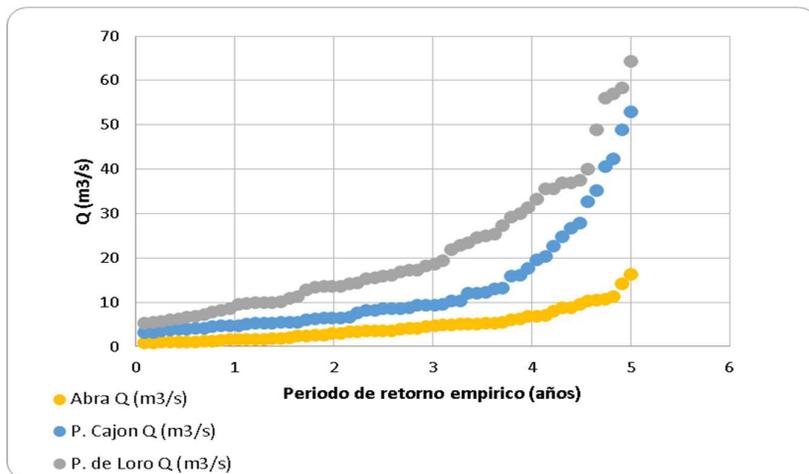
**Figura 8:** POT's el Abra.  
Fuente: Elaboración propia.

3. RESULTADOS

Una vez calculada la serie continua de caudal, procesada las series continuas de precipitación y distribuirla espacialmente en las subcuencas se procedió al cálculo del coeficiente de escurrimiento. El periodo de cálculo del coeficiente de escurrimiento para la cuenca del río Rocha en sus tres estaciones de control fue del **15-dic-2017 a 27-abr-2023**. La Figura 9 presenta los resultados para cada estación donde vemos que los coeficientes de escurrimiento son la pendiente de la relación ajustada de precipitación acumulada y caudal de salida acumulado en las mismas unidades (milímetros). Adicionalmente se realizó el análisis de extremos empírico para un periodo de retorno de 5 años (cantidad de años con los que se cuenta datos), donde en la Figura 10 se observa que para este periodo de retorno se espera caudales de hasta 16 m<sup>3</sup>/seg para la estación El Abra, 52 m<sup>3</sup>/seg para la estación Punte Cajón y 64 m<sup>3</sup>/seg para la estación Pico de Loro.



**Figura 9:** Runoff Ratio el Abra, Pte Cajón, Pte Pico de Loro y la serie continua mensual.  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 10:** Distribución empírica de extremos para un periodo de retorno de 5 años.  
**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4. CONCLUSIONES

Los coeficientes de escurrimiento calculados muestran un déficit hídrico importante en las dos primeras estaciones urbanas de la cuenca del río Rocha donde son inferiores cercanas al 5% esto probablemente debido al uso extremo de este recurso. Aguas abajo la estación de salida que es Pico de Loro muestra coeficientes de escurrimiento de aproximadamente 20% valor más cercano a un sistema natural. Las recesiones en los caudales base comparados año tras año para cada estación mostraron homogeneidad lo cual indica que el procesamiento y correcciones aplicadas fueron adecuadas. De cada estación se extrajeron 58 picos de caudal de toda la serie esto nos da un aproximado de 11 picos por año hidrológico donde comparando las magnitudes de estos registros observados con los caudales producto de la distribución de extremos empírica se asemejan bastante, por lo que se considera un ajuste correcto de dicha distribución.

#### REFERENCIAS

- [1] Senamhi, "Instalación Y Operación De Estaciones - Manual Técnico," Bolivia, 2021.
- [2] M. F. Villazón, "Modelling And Conceptualization Of Hydrology And River Hydraulics In Flood Conditions, For Belgian And Bolivian Basins," Belgium-Heverlee, 2011.
- [3] M. F. Villazón and I. Maldonado, "Modelación hidrológica continua horaria en la cuenca del río Rocha," La Paz, Bolivia, 2022.
- [4] S. L. Guzmán Peñaloza, "Análisis de escenarios para el mejoramiento de la laguna Alalay," Cochabamba, Bolivia, 2024.
- [5] V. T. Chow, D. R. Maidment, and L. W. Mays, "Hidrología aplicada," Santa Fe de Bogotá, Colombia, 1994.
- [6] M. F. Villazón and F. Vallejos, "Application of the WetSpa model to the Taquiña catchment with low quality data," Cochabamba, Bolivia, 2007.
- [7] M. T. Lourenço, "Comparison of 1d and 2d hydrodynamic models for the assessment of dredging in the studies of alternatives for the implementation of the metropolitan train of Cochabamba in the Rocha River," Cochabamba, Bolivia, 2018.
- [8] A. P. Preciado, "Métodos para elaborar curvas de calibración en cauces aluviales," Colombia, 1969.
- [9] SDC, "Plan director de la cuenca del río Rocha," Cochabamba, Bolivia, [Prec.].
- [10] V. Martinez, "Informe técnico de trabajo "recopilación y procesamiento de información hidrometeorológica" para la cuenca Katari y lago menor del Titicaca," La Paz, Bolivia, 2019.