



## Aporte de agua del río “Tres ríos”, según el caudal recesivo, para los años hidrológicos 2008-2015, Cajamarca, Perú

### Water contribution of the “Tres Ríos” River, according to the recessive flow, for the hydrological years 2008-2015, Cajamarca, Peru

Jairo Isaí Alvarez Villanueva<sup>1,\*</sup>; José Francisco Huamán Vidaurre<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería, Av. Atahualpa N° 1050.

\*Autor correspondiente: [jialvarezv@unc.edu.pe](mailto:jialvarezv@unc.edu.pe) (J. I. Alvarez Villanueva).

ID ORCID de los autores

Jairo Isaí Alvarez Villanueva:  <https://orcid.org/0000-0001-8777-3943>

José Francisco Huamán Vidaurre:  <https://orcid.org/0000-0002-4896-0479>

#### RESUMEN

El objetivo del estudio fue cuantificar el aporte de agua del río “Tres Ríos” de la microcuenca del mismo nombre. Se utilizaron dos modelos matemáticos para caudales base: Maillet (1905) y Boussinesq (1904). Se identificó la curva de agotamiento a partir del segundo punto de quiebre, con información hidrométrica del período 2008-2015, obtenida en la captación derivadora Ronquillo ubicada en dicho río. Los caudales simulados fueron contrastados con los caudales observados del río “Tres Ríos” mediante los siguientes indicadores estadísticos: Nash-Sutcliffe (0,71), Error Estándar de Estimación (0,034), Índice de Willmott Modificado (0,70) y una prueba estadística paramétrica (T Student). Se determinó que el modelo de Maillet (1904) no generó caudales de agotamiento próximos a los caudales observados del río “Tres Ríos”; sin embargo, el modelo Boussinesq (1904) generó caudales de agotamiento subestimados más próximos a los caudales observados. Con el modelo Boussinesq (1904) se generó caudales de agotamiento medios mensuales y se estimó el aporte de agua en la captación Ronquillo de la microcuenca obteniéndose un volumen promedio mensual 4,31 MMC.

**Palabras clave:** modelo Maillet; modelo Boussinesq; caudales recesivos; curva de agotamiento.

#### ABSTRACT

The objective of the study was to quantify the contribution of water from the river “Tres Ríos” of the micro-basin of the same name. There was used two mathematical models: Maillet (1905) and Boussinesq (1904). The depletion curve was identified from the second break point, with hydrometric information since the period 2008 to 2015, it obtained in the Ronquillo diversion catchment to the same river. The simulated flows were contrasted with the observed flows of the “Tres Ríos” river, it used the following statistical indicators: Nash-Sutcliffe (0.71), Standard Error of Estimation (0.034), Modified Willmott Index (0.70) and a parametric statistical test (T Student). It was determined that the Maillet model (1904) it did not generate near depletion flows to the observed flows of the “Tres Ríos” river; however, the Boussinesq model (1904) generated underestimated depletion flows to the observed flows. With the Boussinesq model (1904), the average monthly depletion flows were generated and the contribution of water in the Ronquillo catchment of the micro-basin was estimated, it obtained an average monthly volume of 4.31 MMC.

**Keywords:** Maillet model; Boussinesq model; recessive flows; depletion curve.

Recibido: 05-01-2022.

Aceptado: 26-02-2022.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático tiene impacto en los cambios de patrones de precipitaciones (El Bilali et al., 2020). La ausencia prolongada de lluvias se ve reflejada en el desabastecimiento de agua en la ciudad de Cajamarca, desde hace más de una década. Cuantificar los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos permitirán realizar planificaciones para la población cajamarquina en el futuro, frente al crecimiento poblacional. El propósito de la investigación es determinar el aporte de agua del río “Tres Ríos” mediante el uso de modelos matemáticos, ya que hasta la fecha no se ha realizado estudios para determinar el aporte de agua del río “Tres Ríos” en épocas de estiaje. Pizarro-Tapia et al. (2013), Caro (2001) y Balocchi (2008) y otros, realizaron investigaciones para determinar el aporte de caudales recesivos mediante el uso de modelos

matemáticos de la forma exponencial y potencial para diferentes ríos en Chile. La investigación permite dar a conocer a la población cajamarquina el aporte disponible de agua dulce del río “Tres Ríos” para uso poblacional en épocas de estiaje. Asimismo, da a conocer el estado real del caudal circulante en épocas de estiaje del río “Tres Ríos” de la microcuenca “Tres Ríos”, cuya superficie forma parte de la cabecera de la gran cuenca del “Amazonas”. Los objetivos del estudio son: determinar el coeficiente de agotamiento de la microcuenca “Tres Ríos”. Determinar el aporte de agua o del río “Tres ríos” ajustando un modelo matemático a los caudales circulantes del río en estudio para períodos de estiaje. La investigación utilizó herramientas de modelamiento matemático para contribuir a la gestión del recurso hídrico.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Ubicación

La microcuenca “Tres Ríos” pertenece a la vertiente del Atlántico, forma parte de la cabecera de la cuenca del “Amazonas”, ubicada al norte del Perú, en la Región, Departamento, Provincia y Distrito de

Cajamarca (Figura 1). Sus aguas descargan en los ríos “Cajamarquino”, “Marañón” y al caudaloso río “Amazonas”. La microcuenca “Tres Ríos”, se encuentra ubicada en la longitud oeste (78032'11,99") y latitud sur (7032'11,99").

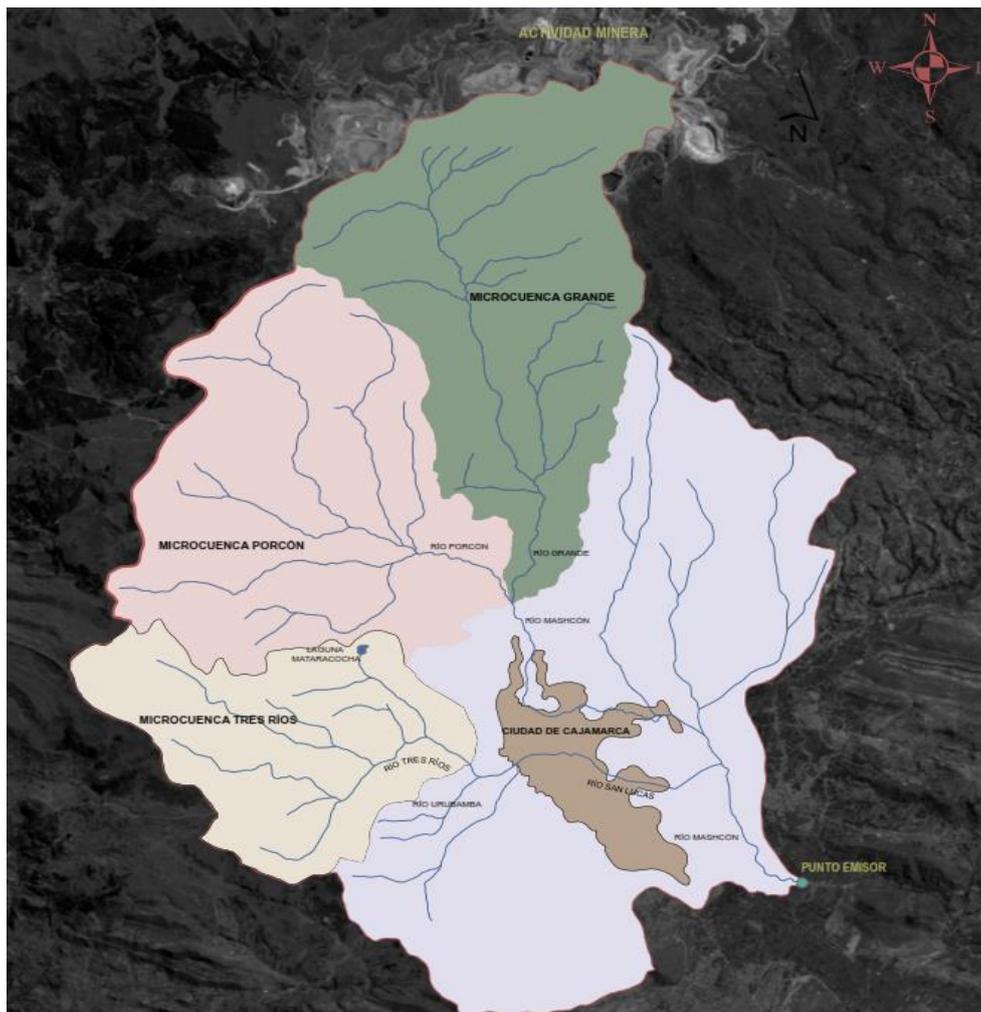
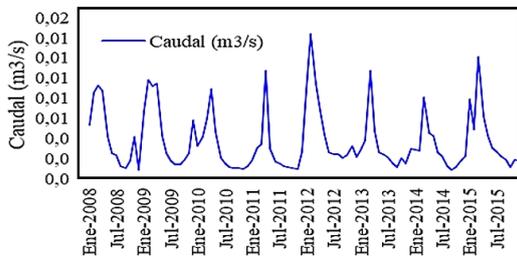


Figura 1. Principales microcuencas de la cuenca Mashcón, Cajamarca, Perú.

La microcuenca presenta un área de 41,5 km<sup>2</sup>. Su elevación está entre los 2840 m.s.n.m y 3950 m.s.n.m, y su perímetro es de 31,8 km. Además, está formada por subcuencas, estas son: subcuenca “Balconcillo”, subcuenca “Manzana”, subcuenca “Coshunga” y subcuenca “Tres ríos”. El principal río de la microcuenca, es el río “Tres Ríos”, presenta característica de alta montaña, presenta una escorrentía de tipo perenne el cual varía en los meses de mayo a septiembre. El principal uso de sus aguas está destinado para uso población, y son captadas en la captación Ronquillo por la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Cajamarca (Eps Sedacaj S.A). En la Figura 1 se observan las tres microcuencas más importantes para el abastecimiento de agua para la ciudad de Cajamarca, estas son: Microcuenca “Tres Ríos”, “Porcón” y “Grande”.

**Información requerida**

La información de caudales par el estudio fue de 35 datos, obtenidos de la estación hidrométrica “Ronquillo” del período 2008 - 2015. Pertenece a la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Hidráulica, instalada en propiedad de la Eps Sedacaj S.A. La estación hidrométrica registra mediciones diarias cada 15min de cotas en (m) y caudales en (m<sup>3</sup>/s). Los caudales de agua que la Eps Sedacaj S.A capta del río “Tres Ríos” hacia planta de tratamiento de agua potable “San Apolonia”, fueron obtenida del Boletín diario de control de procesos. La información recopilada de caudales, fue evaluada para detectar outliers, a través del método de análisis de datos dudosos propuesto por Chow et al (1994). Además, se realizó un análisis gráfico para verificar si existen saltos o vacíos en la información, así como un análisis de consistencia.



**Figura 2.** Registro de caudales medios mensuales del río “Tres Ríos”, período 2008-2015.

**Fórmulas empleadas**

En la Tabla1 se presentan las fórmulas de los modelos de Maillet (1905) y Boussinesq (1904). A partir de estas fórmulas se derivan otras fórmulas tal como presentan a continuación (Maillet, 1905):

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha \cdot t} \tag{1}$$

Boussinesq (1904)

$$Q_t = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2} \tag{2}$$

Fórmulas de coeficiente de agotamiento, derivados de la fórmula 1 y 2. Donde:  $Q_0 > Q_t$ .

$$\alpha = \frac{\text{Log}_{10}Q_t - \text{Log}_{10}Q_0}{-t \cdot \text{Log}_{10}e} \tag{3}$$

$$\alpha = \left( \left( \frac{Q_0}{Q_t} \right)^{0,5} - 1 \right) t^{-1} \tag{4}$$

Fórmulas de almacenamiento, obtenidas por integración de las Fórmulas 1 y 2 (Samper, 2014).

$$V = \frac{Q_0}{\alpha} \tag{5}$$

$$V = \frac{Q_0}{(1 + \alpha \cdot t)} \tag{6}$$

Según Balocchi et al. (2014) y Pizarro-Tapia et al. (2013),  $Q_t$ : representa el caudal en el tiempo  $t$  (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>);  $Q_0$ : caudal inicial de recesión (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>);  $\alpha$ : coeficiente de agotamiento (día<sup>-1</sup>);  $t$ : tiempo de recesión (día);  $V$ : Volumen de almacenamiento (MMC); y  $\text{Log}_{10}e$  : 0,4343,  $e = 2,71828$ .

**Inicio de la curva de agotamiento**

En el análisis del hidrograma, se identificó el punto de inicio de las aguas subterráneas del período 2008 - 2015, identificando de esta manera a los meses de estiaje (mayo-septiembre). Para ello se utilizó el método de Pizarro (1993), utilizado por Balocchi et al. (2014) quienes indicaron, que el inicio del caudal recesivo empieza en el segundo punto de quiebre de curva de descenso del hidrograma, el cual está representado como puntos de quiebres o puntos de inflexión. Además, señala que este punto es el inicio de caudales de origen subterráneo y el inicio de los caudales recesivos. La distribución de la curva de agotamiento adquiere una gráfica lineal, cuando se grafique el logaritmo del caudal observado de la curva de agotamiento del hidrograma ( $Q$ ) versus tiempo ( $t$ ).

**Coefficientes de agotamiento**

Conociendo el inicio de la curva recesiva o de agotamiento, es posible obtener el coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ), mediante la selección de dos caudales distintos (caudal inicial  $Q_0$ , caudal final  $Q_t$ ) y la selección de un determinado tiempo ( $t$ ) en días (Pizarro-Tapia et al., 2013). Manga (2001) señala que los caudales recesivos son utilizados para entender el comportamiento del sistema de aguas subterráneas. Para obtener los distintos coeficientes de agotamientos ( $\alpha$ ) de cada mes de estiaje del período 2008-2015, se utilizó las Fórmulas 3 y 4. Se determinó los valores máximos y mínimos del coeficiente de agotamiento para cada modelo (Fórmula 1 y 2), y en base a los promedios de los coeficientes de agotamiento del período de estiaje 2008-2015, se logró establecer un valor que logró calibrar a los modelos (Fórmula 1 y 2), y de esta manera lograr conocer el comportamiento de las reservas de agua en los acuíferos. Custodio y Llamas (1996) señala que este valor permitirá determinar el volumen de almacenamiento de aguas subterráneas, para ello se usó las Fórmula 5 y 6. Asimismo, este valor cumplió con la condición de Maillet (1905), es decir, que este coeficiente sea mayor a cero.

**Calibración y Simulación**

Identificados los meses de estiajes y los tiempos de duración, se procedió identificar un valor dentro del rango de valores máximos y mínimos de

coeficiente de agotamiento para cada modelo de la Fórmula 1 y 2. La calibración inició tomado al promedio del coeficiente de agotamiento hasta lograr ajustarse a los caudales recesivos del río “Tres Ríos”, siguiendo lo establecido por Erasun et al. (2018) quien indica que un tipo de calibración es el de “prueba y error”. Para la simulación se utilizó los modelos de Maillet (1905) Boussinesq (1904), ver Fórmulas 1 y 2.

**Validación**

Para la validación se utilizó indicadores estadísticos (Tabla 1), estos presentan una métrica de rangos establecidos para determinar la eficiencia de la simulación de los modelos (Fórmula 1 y 2).

**Tabla 1**

Métrica de evaluación de indicadores estadísticos

Indicador	Rango	Valor ideal
NS	$[-\alpha; 1]$	1
IWM	$[0; 1]$	1
EEE	$[0; +\alpha]$	0

Fuente: (Moncada & Willems, 2020.).

Nota: Nash-Sutcliffe (NS), Error Estándar de Estimación (EEE), Índice de Willmott Modificado (IWM).

**Comparación de muestras**

Los caudales recesivos simulados fueron contrastados con los caudales observados del río “Tres Ríos”, esto permitió plantear las siguientes hipótesis: Hipótesis nula,  $H_0$ : No hay diferencias entre la media de las muestras observadas y simuladas. Sí,  $P\text{-Valor} > \alpha$  entonces se acepta la hipótesis nula. Hipótesis Alternativa,  $H_1$ : Hay diferencias entre la media de las muestras observadas y simuladas. Sí,  $P\text{-Valor} < \alpha$  entonces se acepta la hipótesis alternativa. Para realizar la comparación entre ambas variables primero se realizó una prueba de normalidad, para establecer si las pruebas (paramétricas, no paramétricas) pueden responder a las hipótesis planteadas.

**Volumen de almacenamiento**

Validado finalmente el modelo Boussinesq (1904), y conociendo las variables de entrada para cada modelo (Fórmula 6) tales como: caudal recesivo observado inicial, coeficiente de agotamiento y un lapso de tiempo en días, se simuló la Fórmula 6 y se determinó el volumen de almacenamiento.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la Tabla 2 están identificados los caudales recesivos en  $m^3/s$ , los meses de estiaje, y los meses de inicio de los caudales recesivos. Para este análisis se sumó a los caudales registrados por la estación hidrométrica Ronquillo, el caudal promedio de 65 l/s, captado por la Eps Sedacaj S.A, en la captación Ronquillo. El inicio del caudal recesivo (Tabla 2) fue tomado a partir del segundo punto de quiebre de la curva de descenso del hidrograma, el cual está relacionado con el inicio de aporte exclusivamente de agua subterránea. (Balocchi et al., 2014a).

La Tabla 3 presenta los coeficientes de agotamiento ( $\alpha$ ) calibrados mediante el método prueba y error, se utilizó criterios deductivos y observaciones para obtener los coeficientes de agotamiento ( $\alpha$ ) calibrados (Tabla 3). Se tuvo en cuenta el rango de valores de coeficiente de agotamiento  $0.0001 < \alpha < 0.018$  ( $día^{-1}$ ). Esto involucró hacer ajustes

manuales para lograr la eficiencia de simulación de los modelos (Fórmula 1 y 2). Gómez y Gómez (2016) indica que a medida que avanzan los meses de estiaje el coeficiente de agotamiento va reduciéndose. Coincidiendo con Balocchi et al. (2014a) quien afirma que este valor va disminuyendo a medida que avanza el tiempo. Asimismo, señala que este valor representa la pendiente de la curva de descenso de la curva de agotamiento. El coeficiente de agotamiento calibrado para la investigación fue de  $0,003$   $día^{-1}$  (Tabla 3). Maillet (1905) sostiene que este valor tiene que ser mayor a cero, lo cual cumple con esa condición. El resultado se compara con los coeficientes de agotamiento tales como:  $0,027$   $día^{-1}$  y  $0,08$   $día^{-1}$  calculados por Adarve, Fedeli y Castillo (1998) los cuales indican un rápido agotamiento y una elevada conductividad hidráulica.

**Tabla 2**

Caudales recesivos del río “Tres Ríos”

Año	Meses de estiaje, 2008-2015					
2008	Jun-2008	Jul-2008	Ago-2008	Set-2008		
Q ( $m^3/s$ )	0,267	0,197	0,154	0,125		
2009	Jun-2009	Jul-2009	Ago-2009			
Q ( $m^3/s$ )	0,220	0,159	0,133			
2010	Jun-2010	Jul-2010	Ago-2010	Set-2010		
Q ( $m^3/s$ )	0,187	0,167	0,142	0,120		
2011	Jun-2011	Jul-2011	Ago-2011	Set-2011	Oct-2011	Nov-2011
Q ( $m^3/s$ )	0,271	0,211	0,210	0,168	0,152	0,123
2012	May-2012	Jun-2012	Jul-2012	Ago-2012		
Q ( $m^3/s$ )	0,242	0,217	0,173	0,099		
2013	May-2013	Jun-2013	Jul-2013	Ago-2013	Set-2013	
Q ( $m^3/s$ )	0,273	0,261	0,234	0,162	0,132	
2014	Jun-2014	Jul-2014	Ago-2014	Set-2014		
Q ( $m^3/s$ )	0,300	0,269	0,166	0,125		
2015	Jun-2015	Jul-2015	Ago-2015	Set-2015	Oct-2015	
Q ( $m^3/s$ )	0,331	0,298	0,264	0,221	0,144	

Por otro lado, Pulido (1979) señala que valores de  $0,023 \text{ día}^{-1}$  y  $0,116 \text{ día}^{-1}$ , indican un vaciado rápido de agua subterránea. Asimismo, Liñán (2005) señala que con valores de orden de  $10^{-3} \text{ día}^{-1}$  en zonas karstificadas indicarían un agotamiento de manera lenta, por presentarse en una zona saturada y por ende una descarga lenta. Como el coeficiente de agotamiento de la investigación se encuentra en el orden de  $10^{-3}$  entonces podemos señalar que las descargas de las aguas subterráneas son lentas o reguladas de forma natural. Del resultado se señala que mientras mayor sea el valor del coeficiente de agotamiento, existirá un vaciado rápido de agua subterránea. Posteriormente, se procedió a simular los modelos (Fórmulas 1 y 2) utilizando la información de la Tabla 3 y a validar un modelo que mejor se ajuste a los caudales recesivos del río “Tres Ríos”.

**Tabla 3**  
Coeficientes de agotamiento calibrados

Modelo	Coefficiente de agotamiento
Maillet (1905)	$0,006 \text{ día}^{-1}$
Boussinesq (1904)	$0,003 \text{ día}^{-1}$

La Tabla 4 muestra que los caudales simulados por el modelo de Boussinesq (1904), presentaron los mejores resultados de indicadores estadísticos frente a los resultados de Maillet (1905), Moncada y Willems, (2020) señalan que el grado de confiabilidad del modelo se obtiene mediante la eficiencia dada por los indicadores estadísticos. El modelo no presenta un ajuste perfecto debido a que el NS es menor a 1 (Moncada & Willems, 2020). No es excelente por ser NS menor a 0,8. El modelo es bueno por estar dentro del rango de 0,6-0,8. Según el indicador IWM el modelo no hace un ajuste perfecto por ser menor a 1 (Moncada & Willems, 2020). Para EEE un valor de 0 indica que los valores simulados son óptimos (Wijayarathne y Coulibaly, 2020).

**Tabla 4**  
Resultado de indicadores estadísticos

Indicadores	Valor ideal	Maillet (1905)	Boussinesq (1904)
NS	1	0,67	0,71
IWM	1	0,68	0,70
EEE	0	0,036	0,034

Los caudales recesivos simulados por el modelo de Boussinesq (1904) fueron contrastados con los caudales observados del río “Tres Ríos”, permitiendo realizar la prueba de distribución

Normal mediante la prueba de Shapiro Wilk, se demostró que dicha relación presenta una distribución normal por tanto se eligió la prueba de T Student con un nivel de significación (“ $\alpha$ ”= 0,05), Esta prueba logró comparar la media de las muestras relacionadas. Se determinó que P-valor < 0,05, por tanto, se acepta la hipótesis alternativa. Demostrando que existe una sub estimación en la simulación. Una subestimación de caudales Caro (2001) señala que es más beneficiosa que una sobreestimación, puesto que permitiría realizar una planificación mucho más racional en el uso de los caudales en meses de ausencia de lluvias.

**Tabla 5**  
Volúmenes de agua en épocas de estiaje, 2008-2015

Meses de estiaje	Año	Volumen simulado de río (MMC)
Junio- septiembre	2008	4,10
Junio- agosto	2009	3,76
Junio- septiembre	2010	3,40
Junio- noviembre	2011	4,17
Mayo- agosto	2012	4,03
Mayo- septiembre	2013	4,69
Junio-septiembre	2014	4,76
Junio-octubre	2015	5,56
Volumen promedio de caudales simulados		4,30
Volumen promedio de caudales observados		5,21

El aporte de agua de la microcuenca “Tres Ríos” en períodos de estiaje, se obtuvo mediante el volumen promedio mensual para los meses de estiaje, del período 2008-2015, mediante la Fórmula 6. La Tabla 5 presenta una subestimación entre los promedios de los volúmenes simulados y los observados para el período 2008-2015. Según Caro (2001) una subestimación permitirá hacer una planificación muy racional en el uso del agua. Remenieras (1974) y Custodio y Llamas (1976) coinciden en que estos volúmenes de almacenamiento de origen subterráneo en épocas de estiaje, son las reservas subterráneas de una cuenca y que según Condon et al. (2020) está en función de la capacidad de recarga de las fuentes naturales por acción de lluvias. Finalmente, Jodar-Abellan et al. (2018) señala que los modelos hidrológicos son herramientas que permiten planificar, gestionar sosteniblemente el recurso hídrico.

## CONCLUSIONES

Los modelos de Maillet (1905) y Boussinesq (1904) son los más comunes para simular caudales recesivos. El modelo de Boussinesq (1904) fue validado para simular caudales recesivos en la microcuenca “Tres Ríos”. Se utilizó la Fórmula 6 para cuantificar el aporte de agua del río “Tres ríos” en épocas de estiaje, obteniendo de esta manera un volumen promedio mensual de 4,313 MMC para el

período 2008-2015. Este valor representa el volumen de almacenamiento de agua subterránea liberada por los acuíferos de la microcuenca “Tres Ríos” en épocas de estiaje. Además, esta información será base para la planificación del recurso hídrico para la ciudad de Cajamarca, frente al cambio climático y al acelerado crecimiento poblacional.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adarve, A., Castillo, A., & Fedeli, B. (1998). Análisis de curvas de agotamiento en dos ríos de Sierra Nevada (Granada, España). Universidad de Granada, España.
- Balocchi, F. (2008). Modelación de caudales recesivos para períodos estivales en la cuenca del Estero Upeo, Región del Maule.
- Balocchi, F., Pizarro, R., Morales, C., & Olivares, C. (2014). Modelamiento matemático de caudales recesivos en la región mediterránea andina del Maule: el caso del estero Upeo, Chile. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(5), 179-188.
- Caro, J. A. (2001). Modelación de caudales recesivos para la cuenca del río Purapel. Estación Nirivilo.
- Condon, L. E., Markovich, K. H., Kelleher, C. A., McDonnell, J. J., Ferguson, G., & McIntosh, J. C. (2020). ¿Where is the bottom of a watershed? *Water Resources Research*, 56, 1-9.
- Custodio, M. E., & Llamas, M. R. (1996). Hidrología Subterránea. Barcelona, España: Omega.
- Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. Bogotá: McGraw Hill.
- Erasun, V., Failache, N., & Gamazo, P. (2018). Modelación hidrológica para la gestión del riesgo de inundaciones en la cuenca del río Daymán. Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Argentina.
- Gómez, S., & Gómez, V. L. (2016). Baseflow analysis using master recession curves and numerical algorithms in mountain basins: Suratá's river and Oro's river (Santander, Colombia). *DYNA*, 83(196), 213-222.
- Jodar-Abellan, A., Ruiz, M., & Melgarejo, J. (2018). Evaluación del impacto del cambio climático sobre una cuenca hidrológica en régimen natural (SE, España) usando un modelo SWAT. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 35(3), 240-253.
- Liñán, C. (2005). Hidrogeología de acuíferos carbonatados en la unidad Yunquera-Nieves (Málaga). Instituto Geológico y Minero de España.
- El Bilali, H., Bassole, I. H. N., Dambo, L., & Berjan, S. (2020). Climate change and food security. *Agriculture and Forestry*, 66(3), 197-210.
- Manga, M. (2001). Origin of Post Seismic Stream Flow Changes Inferred from Baseflow and Magnitude-Distance Relations. *Geophysical Research Letters*, 28, 2133-2136.
- Moncada, W., & Willems, B. (2020). Tendencia anual del caudal de salida, comparado con el caudal ecológico, en la Microcuenca Apacheta/Ayacucho/Perú, 2000 a 2018. *Ecología Aplicada*, 19(2), 93-102.
- Maillet, E. (1905). D'Hydraulique. París, Francia: Librairie Scientifique.
- Pizarro-Tapia, R., Balocchi-Contreras, F., García-Chevesich, P., Macaya-Pérez, K., Bro, P., et al. (2013). On Redefining the Onset of Baseflow Recession on Storm Hydrographs. *Open Journal of Modern Hydrology*, 3(4), 269-277.
- Pulido, A. (1979). Contribución al conocimiento de la hidrogeología del prebético nororiental.
- Remenieras, G. (1974). Tratado de la Hidrología Aplicada. Barcelona, España: Técnicos Asociados.
- Samper, J. (2014). Manantiales y relaciones Río Acuífero de Hidrología del Subsuelo.
- Wijayarathne, D. B., & Coulibaly, P. (2020). Identification of hydrological models for operational flood forecasting in St. John's, Newfoundland, Canadá. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27, 100646.