

Conference Paper

Ecological Flow to Protect Aquatic Resources on the Cebadas River, Chambo River Basin

Caudal Ecológico para Proteger los Recursos Acuáticos en el Río Cebadas, Subcuenca del Río Chambo

M Ilbay-Yupa¹, M García-Mora², and N. Llugsha¹

¹Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

²Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

VII International Congress of
Science, Technology,
Entrepreneurship and
Innovation (SECTEI 2020)

Corresponding Author:
M Ilbay-Yupa
merckyu@hotmail.com

Published: 26 August 2021

Production and Hosting by
Knowledge E

© M Ilbay-Yupa et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

Abstract

The assessment of ecological flow is a great challenge, which has important implications in the protection of aquatic ecosystems and socio-economic development of an area. The Tennant-Montana method provides the ability to determine ecological flows considering the relationship between aquatic habitat conditions and the average annual flow of a channel. This research presents an estimate of the ecological flow at 10, 30 and 60% of the average flow and trends of the Cebadas River located in the central Andes of Ecuador through a hydrological approach during the period 1966 to 2015. The results allowed to determine an average annual flow rate of 20,768 m³/s and identify a period of avenues (May-September) and a period of dry (October-April). Long-term trend analysis using linear regression and Spearman Rho's test determined that the flow rate has remained virtually unchanged for 50 years and for decade periods. The selected ecological flow was 30% of the seasonal average with values of 6.22 m³/s and 8.32 m³/s for the dry and avenue period respectively. The hydrological variability of the Cebadas River was considered because it is a restrictive factor for the development of the different aquatic species. Flow rates at 30% flow could ensure adequate development and conservation of the aquatic habitats of the Barley River while ensuring a sufficient supply of water for food security.

Keywords: Cebadas River, ecological flow, trends, tennant

Resumen

La evaluación del caudal ecológico es un gran desafío, que tiene importantes implicaciones en la protección de ecosistemas acuáticos y desarrollo socioeconómico de una zona. El método de Tennant-Montana provee la capacidad de determinar caudales ecológicos considerando la relación entre las condiciones del hábitat acuático y el flujo anual medio de un cauce. Esta investigación presenta una estimación del caudal ecológico al 10, 30 y 60% del caudal medio y tendencias del río Cebadas ubicado en los Andes centrales del Ecuador mediante un enfoque hidrológico durante el periodo de 1966 al 2015. Los resultados permitieron determinar un caudal promedio anual de 20.768 m³/s e identificar un periodo de avenidas (mayo- septiembre) y otro de estiaje (octubre-abril). El análisis de tendencias a largo plazo mediante la regresión lineal y el test de Spearman Rho determinaron que el caudal se ha mantenido prácticamente sin cambios durante 50 años y para los periodos decadales. El caudal ecológico seleccionado fue al 30% de la media estacional con valores de 6.22 m³/s y 8.32 m³/s para el periodo de estiaje y avenida respectivamente. Se consideró la variabilidad hidrológica del río Cebadas

 OPEN ACCESS



porque constituye un factor restrictivo para el desarrollo de las diferentes especies acuáticas. Los caudales al 30% de flujo podrían asegurar un desarrollo y conservación adecuada de los hábitats acuáticos del río Cebada y al mismo tiempo garantiza un suministro suficiente de agua para la seguridad alimentaria.

Palabras Clave: río Cebadas, régimen fluvial, tendencias, tennant.

1. Introducción

El agua es un recurso importante para la supervivencia humana que promueve el desarrollo social y económico en un país y desempeña un papel ecológico crucial para la regulación hidrológica y climática [1]. Actualmente las grandes demandas del sector agrícola y el aumento de la población generan fuertes presiones sobre los recursos hídricos [2]. Los ríos suministran agua para usos municipales, agrícolas, económicos y ambientales [3]. Muchos ríos tienen diferentes grados de salud que están determinados por las variaciones en la hidrología del cauce, deterioro del estado del flujo y calidad del agua [4].

Ríos donde la biodiversidad ha disminuido [5], indican un desequilibrio ecológico de los ecosistemas ribereños. Para mantener las funciones básicas de un entorno fluvial que garantice la conservación de un volumen suficiente para evitar la atrofia, el agotamiento y la pérdida de la función de un río [6], algunos países han desarrollado métodos ampliamente utilizados para su evaluación. Estos métodos suelen agruparse en cuatro categorías, que enumeramos en orden creciente de aparición y rigor conceptual como los enfoques hidrológicos, hidráulicos, de simulación de hábitat y análisis general [7, 8]. Todos estos métodos son capaces de evaluar con precisión el estado de la salud del flujo en función de sus propios modelos y de acuerdo con los indicadores correspondientes. Los métodos más utilizados son los hidrológicos, su base conceptual se fundamenta en diversos tratamientos estadísticos, donde los ecosistemas acuáticos están adaptados a diferentes regímenes hidrológicos del cauce. Estos métodos proporcionan estimaciones básicas y son considerados como pasos iniciales para la evaluación del flujo ambiental que permitan mantener un ecosistema ribereño más saludable [9].

El método de Tennant o Montana (1976) corresponde a uno de los métodos hidrológicos más comunes, desarrollado por datos de calibración de cientos de ríos en Estados Unidos, requiere como información base el registro histórico de caudales medios mensuales multianuales para los periodos de avenida y estiaje. Su aplicación se fundamenta en las relaciones entre las condiciones del hábitat acuático y el flujo del cauce, valores



que fueron determinados mediante las características hidráulicas de la corriente y respuestas biológicas de hábitats acuáticos [10]. Varias investigaciones demuestran que hay pruebas hidrológicas y biológicas significativas de que el Método de Tennant-Montana se puede utilizar con éxito en corrientes a lo largo de los Estados Unidos y en otras partes del mundo [11–14].

El cambio climático está planteando un serio desafío para la gestión de los recursos hídricos en muchos países en desarrollo [15–17], siendo necesario comprender las variaciones y las tendencias de los cauces a largo plazo, para mejorar la planificación y las estrategias operativas para el uso sostenible de los recursos hídricos disponibles [18, 19].

Se han realizado investigaciones para identificar el impacto del cambio climático en las variaciones temporales de series hidrológicas de diferentes ríos de todo el mundo como en: China [20], India [21], Suiza [22], Nepal [23], Estados Unidos [24], Canada [25] y Sudamérica [26, 27]. Dai (2016) descubrió que solo 55 de los 200 ríos más grandes del mundo mostraron tendencias estadísticamente significativas en el período de 1948 a 2012. De acuerdo con Milliman *et al.* solo un tercio de los ríos con descarga directa en los océanos, tienen un incremento del 30% en su caudal, entre 1951–2000. Alkama *et al.* no detectaron cambios significativos en el flujo observado desde 1958 hasta 1992 para 161 ríos. Las tendencias a incrementos o decremento de los caudales analizados son muy variados y sensibles a la duración de los periodos [28].

La Constitución de la República del Ecuador 2008, en el Art. 411 menciona que el estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos. En la Ley de Aguas (2015) se define el caudal ecológico (Art. 76) y considera su mantenimiento como garantía de la preservación de los ecosistemas y la biodiversidad (Art. 64b). Además, establece que la Autoridad Única del Agua en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional determinará la metodología de caudal ecológico (Art. 76). Sin embargo, hasta la actualidad no se ha determinado la metodología, ni el valor del caudal ecológico del río Cebada.

Los objetivos de la presente investigación, fueron (1) determinar el caudal ecológico del río Cebadas, mediante el método de Tennant-Montana con la finalidad de proteger sus recursos acuáticos y (2) detectar las tendencias del caudal para el periodo 1966–2015, lo que puede ayudar a formular estrategias regionales para la gestión de los recursos hídricos.

2. Materiales y Métodos

2.1. Ubicación del área de estudio

El área en estudio, abarca $\sim 702,22 \text{ km}^2$ y forma parte de la microcuenca del río Cebadas, subcuenca del río Chambo, cubre aproximadamente el 57,5% del cantón Guamote. Se extiende entre las coordenadas $78,4\text{--}78,5^\circ\text{O}$ (longitud) y $0,4\text{--}0,8^\circ\text{S}$ (latitud), su altitud es muy variada (2840–4640 m.s.n.m.) (Figura 1). La microcuenca abarca un clima húmedo con pequeños déficit de agua, Mesotermico templado cálido [29], el 83% de su superficie es páramo con una oferta hídrica de $16,65 \text{ m}^3$ y una demanda de 7 m^3 , sin embargo, se evidencia un índice de escasez de 53,30% [30]. El río Cebadas tiene una longitud de aproximada 49,93 km y se forma a partir de la unión de los ríos Atillo y Yasipan, este último es su mayor contribuyente [Figura 1].

Las fuentes de este río son parte del Parque Nacional Sangay declarado patrimonio de la humanidad por la UNESCO.

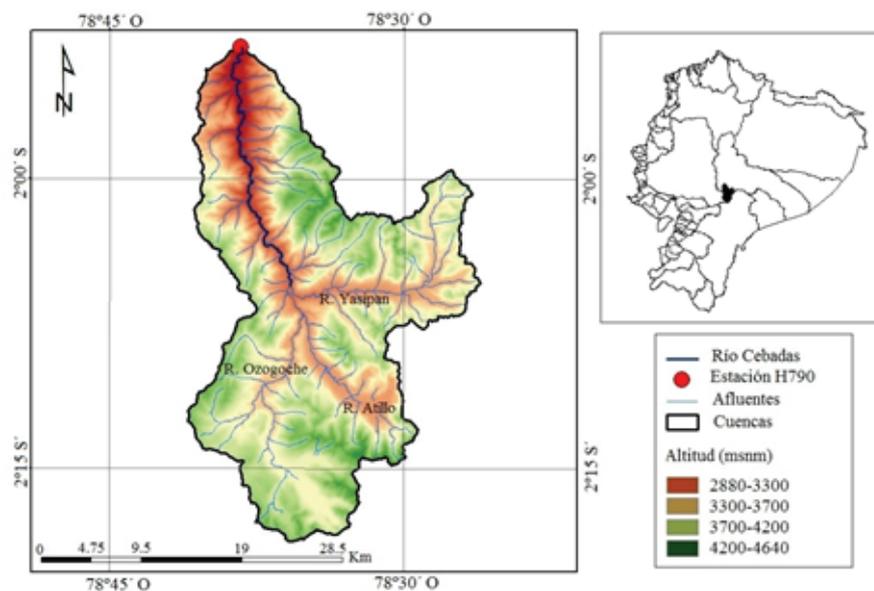


Figure 1

Ubicación del río Cebadas.

2.2. Datos hidrológicos

En esta investigación se utilizaron datos mensuales del caudal hidrológico de la estación Cebadas AJ Guamote (H790), información proveniente del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Ubicada en las coordenadas de $1,887^\circ\text{S}$ de latitud y $78,638^\circ\text{O}$ de longitud y una altura de 2840 m.s.n.m. Se seleccionó el periodo de mayor duración (1966–2015) y con menor porcentaje de datos faltantes ($<2,6\%$). Debido a que



el porcentaje de datos faltantes es menor al 10% se aplicó la media aritmética mensual para su estimación [31].

2.3. Método de Tennan-Montana

Es un método sencillo para determinar caudales que protejan los recursos acuáticos en las corrientes de agua fría y caliente, en función de su flujo promedio. Este método inicialmente fue probado en 11 corrientes de 3 estados, entre 1964 y 1974 en Estados Unidos, basado en un análisis físicos, químicos y biológicos. Los estudios fueron realizados y analizados con biólogos pesqueros, quienes revelaron que las condiciones de hábitat acuático fueron notablemente similares en la mayoría de las corrientes que llevan la misma porción del flujo promedio [10].

Este método recomienda varios rangos de caudal ecológico como:

El 10% del flujo promedio, es un flujo instantáneo mínimo recomendado para mantener el hábitat de supervivencia a corto plazo de la mayoría de las formas de vida acuáticas.

Al 30% como flujo base para mantener buenas condiciones de supervivencia para la mayoría de las formas de vida acuáticas y la recreación en general.

Al 60% del flujo proporciona un hábitat de excelente a sobresaliente para la mayoría de las formas de vida acuáticas durante sus períodos primarios de crecimiento y para la mayoría de usos recreativos.

El caudal ecológico para el río Cebadas se realizó considerando el 10, 30 y 60% del caudal promedio multianual y promedio multi mensual. Los tres regímenes cubren un rango de flujo desde aproximadamente el mínimo hasta cerca del máximo que normalmente puede ser justificado y recomendado para proteger el medio ambiente natural en la mayoría de los arroyos y ha sido ampliamente utilizado en ríos de Canadá [32], en China [33], la India [34], Estados Unidos [35] e Irán [36].

2.4. Análisis de tendencias

La tendencia de la serie anual (1966–2015) y decadales (1966–1975; 1976–1985; 1986–1995; 1996–2005; 2006–2015) se evaluó mediante dos pruebas estadísticas robustas, desarrolladas en el taller de expertos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la UNESCO sobre detección de tendencias [37].

- (i) Test Spearman 'Rho', es una prueba no paramétrica utilizado para el análisis de tendencias y aplicado en poblaciones que toman un orden clasificado. La hipótesis nula (H_0), considera que todos los x_i son independientes distribuidos



de forma idéntica y la hipótesis alternante (H1) se fundamenta en el incremento o decremento de i (tendencia) la prueba estadística se presenta a continuación [38]:

$$\text{Rho} = 1 - \frac{6D^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (1)$$

donde, D es la diferencia de los rangos y n el número de observaciones

$$D^2 = \sum_i^n (x_i - i)^2. \quad (2)$$

El valor p -value de Spearman Rho para una muestra de datos observados se estima mediante la función de distribución acumulativa, con media 'cero' y varianza (var).

$$\text{var}_{\text{Rho}} = \frac{1}{n-1}, \quad (3)$$

$$Z = \frac{\text{Rho}}{\sqrt{\text{var}(\text{Rho})}}. \quad (4)$$

Regresión Lineal, es también una prueba no paramétrica y se ajusta a una línea recta de los datos y la pendiente de la línea puede ser significativamente diferente de cero o no. La prueba de significancia se basa en la suposición de que la distribución de los valores residuales (es decir, las desviaciones de la línea de regresión) para la variable dependiente sigue la distribución normal, y que la variabilidad de los valores residuales es la misma para todos los valores de la variable independiente. Para una serie de observaciones $\{x_i: i=1, 2, \dots, n\}$, la estadística de prueba (t) se pueden calcular de la siguiente manera [39]:

$$y = a + bx, \quad (5)$$

$$b = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum((x_i - \bar{x})^2)}, \quad (6)$$

donde, es la ordenada de origen y 'b' la pendiente de la línea ajustada. El incremento o decremento de esta prueba se realiza utilizando la prueba t de Student. Esta prueba permite examinar las diferencias entre dos muestras independientes y pequeñas que tengan distribución normal y homogeneidad en sus varianzas.

'a'

$$t = \frac{b}{s_b},$$

S_b , el error estándar de b .

$$S_b = \frac{\epsilon_i^2}{(n-1) \sum(x - \bar{x})^2}, \quad (7)$$

Y ϵ^2 , es la suma de cuadrados de residuos o errores.

$$\sum \epsilon^2 = \sum (y - \bar{y})^2 - b \sum (x - \bar{x})^2, \quad (8)$$

3. Estos dos test han sido utilizado en series hidrometeorológicas por varios autores [40–43] y sus valores varían de correlación negativas (-1) a positiva (+1).

3. Resultados y Discusión

3.1. Régimen hidrológico del río Cebadas y análisis de tendencia

Los diagramas de caja de los valores mensuales para el periodo 1966–2015 (50 años), indican que el caudal en el río Cebadas presenta un periodo de estiaje y avenidas correspondiente a los meses de: octubre a abril (bajo la línea roja) y de mayo a septiembre (sobre la línea roja) respectivamente (Figura 2a). El máximo caudal observado fue en junio del 2007 (116,09 m³/s) y el mínimo en febrero de 1982 (1,93 m³/s). La mayor parte de valores extremos (valores atípicos) se concentran en el periodo de avenidas (Figura 2a), lo que evidencia en un alto coeficiente de variación (CV) para avenidas (0,51) y estiaje (0,58). El caudal promedio anual fue 20,768 m³/s, desviación estándar de $\pm 4,61$ m³/s y un CV anual de 0,22 (Figura 2b). Es decir, el río Cebadas muestra una variabilidad anual menor comparada con la estacional, debido a las oscilaciones entre las crecidas invernales y sequías estivales [44].

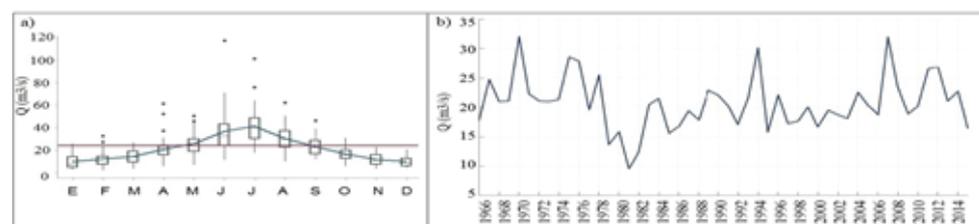


Figure 2

(a) Diagrama de caja de los valores medios mensuales (línea continua azul), también se muestran los percentiles del 25, 50 y 75% (líneas continuas negras), los valores atípicos (puntos negros) y la división del periodo de avenidas y estiaje (línea roja continua). (b) Distribución del caudal medio anual (1966–2015) en el río Cebadas.

3.2. Caudal ecológico

El caudal ecológico medio mensual al 10% ($Q_{e10\%}$) por el Método de Tennant- Montana en el río Cebadas fue de 0,95 m³/s a 4,08 m³/s (Tabla 1) considerado como límite inferior para la vida acuática [10]. Al 30 ($Q_{e30\%}$) y 60% ($Q_{e60\%}$) se incrementa de 2,86 a 12,25 m³/s y 5,73 a 24,50 m³/s respectivamente (Tabla 1). Los caudales ecológicos de frecuencias mensuales siguen la dinámica natural del río (Figura 3a). En la Tabla 1



se puede identificar el mes de febrero como el caudal mínimo medio para el periodo de estiaje (Figura 2) y representa la condición natural más severa que la comunidad de especies acuáticas pudo experimentar [10]. Es decir, en el río Cebadas no se puede considerar el caudal ecológico al 10% mensual, porque sus valores son inferiores al caudal crítico mensual ($<1.93 \text{ m}^3$).

Table 1

Caudal máximo (Qmax), mínimo (Qmin) mensual y caudales ecológicos (Qe) para los rangos del 10, 30 y 60%, frecuencia mensual en metros cúbicos por segundo.

Meses	Q media	Q min	Q max	Qe _{10%}	Qe _{30%}	Qe _{60%}
E	9,54	2,43	25,81	0,95	2,86	5,72
F	11,67	1,93	32,14	1,16	3,50	7,00
M	14,03	3,07	26,9	1,40	4,21	8,42
A	20,67	5,38	61,02	2,06	6,20	12,4
M	25,73	6,4	49,94	2,57	7,72	15,44
J	36,43	10,9	116,9	3,64	10,93	21,86
J	40,84	17,46	100,9	4,08	12,25	24,50
A	29,87	9,40	62,08	2,98	8,96	17,92
S	22,96	11,33	46,2	2,29	6,88	13,77
O	16,31	5,71	30,96	1,63	4,89	9,78
N	11,36	3,37	22,86	1,13	3,40	6,81
D	9,65	3,62	21,05	0,96	2,89	5,79

El caudal ecológico al 10% de la media anua del río Cebadas para un periodo de 50 años, por el método de Tennan-Montana fue $2,076 \text{ m}^3/\text{s}$. Este flujo es considerado como instantáneo o mínimo, recomendado para conservar hábitat a corto plazo en la mayoría de las formas de vidas acuáticas. Este caudal coincide con lo propuesto por ley del Ecuador. El caudal al 30% fue $6,228 \text{ m}^3/\text{s}$ y representa el flujo base que permite mantener en buenas condiciones al río y la supervivencia para la mayoría de formas de vida acuáticas [10, 45, 46]. El caudal ecológico al 60% del flujo anual fue $12,46 \text{ m}^3/\text{s}$, valor que supera la media mensual multianual para el periodo de estiaje (Figura 3b), por consiguiente no se puede considerar este caudal.

La conservación de caudales ecológicos mensuales no es práctico para el otorgamiento de la autorización para uso o aprovechamiento productivo del agua, tampoco, se podría establecer un caudal ecológico anual, debido a que este valor no respeta las dinámicas del flujo del cauce. Por eso, en esta investigación se consideró el caudal ecológico para el periodo de avenidas ($8.32 \text{ m}^3/\text{s}$) y estiajes ($6.22 \text{ m}^3/\text{s}$) al 30%, caudales que se encuentran sobre la mínima mensual e inferior al promedio multimensual observado para un periodo de 50 años. No se seleccionó el caudal ecológico estacional al 10%, porque este caudal es considerado por varios autores (17 y 35) como no apto para la vida saludable de un río. Además, sería un error someter a

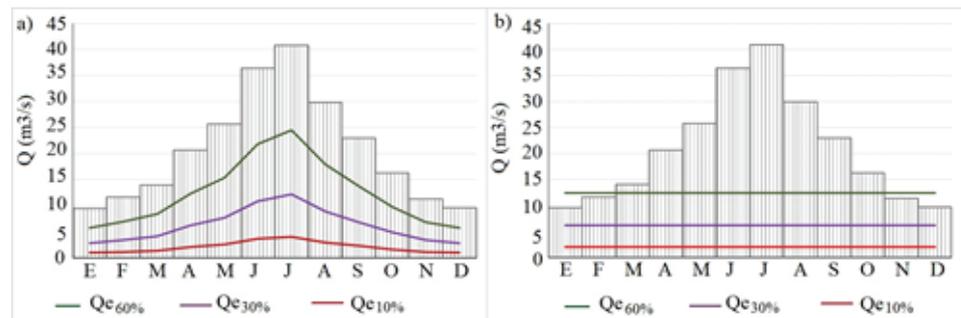


Figure 3

Caudal ecológico (Q_e) determinado por el método de Tennan (a) frecuencia mensual y (b) anual para el río Cebadas periodo 1966–2015.

los ecosistemas fluviales a condiciones críticas, si bien es cierto que las comunidades acuáticas resisten épocas de estiaje no lo hacen por periodos prolongados [47].

3.3. Análisis de tendencia en el río Cebadas

El análisis de tendencia a largo plazo (1966–2015) permitió identificar que el río Cebadas no presenta tendencia al incremento o decremento del caudal (Figura 4), mediante dos pruebas estadísticas robustas como el Test Spearman ‘Rho’ y la regresión lineal (RL9). En el último decalustro el río Cebada no ha disminuido el caudal, pero tampoco se ha incrementado. Este análisis concuerda con la mayoría de investigaciones recientes, donde no se detectaron cambios significativos en el flujo observado [28, 48–50].

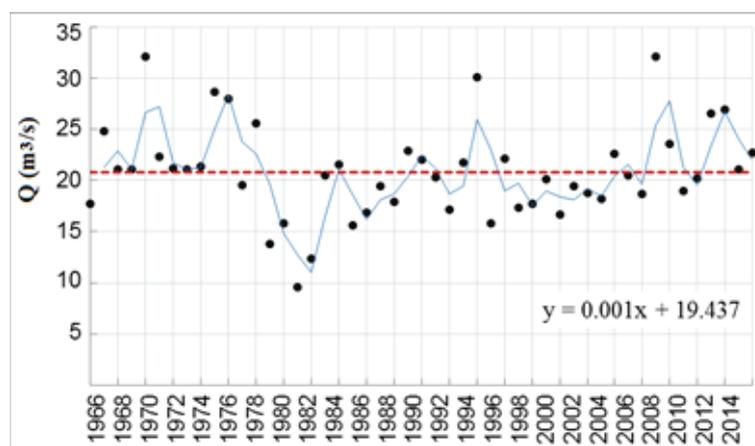


Figure 4

Análisis de tendencias a largo plazo en el río Cebada (línea entre cortada de color rojo) y la media móvil (línea continua azul).

Las tendencias del caudales medios decadales a escala anual fueron pequeños con incrementos para los años 1966–1975, 1986–1995, 1966–2005 y decrementos para



1976–1985 y 2006–2015, pero estadísticamente insignificantes. La Figura 4 y Tabla 2 muestran claramente que la tendencia de descarga no cambió significativamente a escalas decadal y a largo plazo, es decir, que no se evidencia los impactos del cambio climático en los flujos del río Cebadas.

Table 2

Tendencias decadal en el río Cebada mediante el test de Spearman Rho y la regresión lineal.

Periodo	Spearman Rho	Regresión lineal
1966–1975	0,382	0,280
1976–1985	–0,345	–0,417
1986–1995	0,127	0,289
1996–2005	0,309	0,208
2006–2015	–0,152	–0,262

4. Conclusiones

El río cebadas presenta un periodo de avenidas de mayo a septiembre y estiaje de octubre a abril, siendo febrero el mes crítico con un caudal mínimo medio de 1.93 m³/s. El promedio multianual fue 20,768 m³/s, desviación estándar de $\pm 4,78$ m³/s, baja variación interanual (CV = 0.22). Sin embargo, presentó una gran oscilación entre los regímenes de avenidas y estiaje para un periodo observado de 50 años (1966–2015).

El análisis de tendencias mediante dos pruebas estadísticamente robusta no paramétricas como el Test Spearman 'Rho' y la regresión línea indican que en los últimos 50 años no existen tendencias generalizadas al aumento ni disminución del caudal del río Cebadas, así, como para periodos decadales.

Los caudales ecológicos para el río Cebadas calculados por el método de Tennant-Montana considerando la variabilidad hidrológica del río Cebadas, que constituye un factor restrictivo para el desarrollo de las diferentes especies acuáticas fue de 6.22 m³/s y 8.32 m³/s para el periodo de estiaje y avenida respectivamente. Estos caudales (al 30% de flujo) podría asegurar un desarrollo y conservación adecuada de los hábitats acuáticos del río y al mismo tiempo garantiza suministros suficientes de agua para la seguridad alimentaria. La determinación de este caudal ecológico puede contribuir a establecer reglas de gestión y monitoreo del impacto en la salud del río. Por lo tanto, los responsables de las políticas del agua deben desarrollar un plan óptimo para la protección del flujo ecológico del río Cebadas, basados en políticas de gestión de recursos hídrico que garantice la conservación ecología de los sistemas fluviales y los niveles de seguridad alimentaria.



References

- [1] Koundouri P, Rault P K, Pergamalis V, Skianis V, Souliotis I. Development of an integrated methodology for the sustainable environmental and socio- economic management of river ecosystems. *J. Science of the Total Environment*. 2016;540:90-100.
- [2] Hoekstra A, Mekonnen M M. The water footprint of humanity. *J. PNAS of the United States of America*. 2012;109(9):3232–7.
- [3] Clark E, Sheffield J, van Vliet M, Nijssen B, Lettenmaier D. Continental runoff into the oceans (1950–2008). *J. Hydrometeorol*. 2015;16(4):1502-1520.
- [4] Malmqvist B, Rundle S. Threats to the running water ecosystems of the world. *J. Environ. Conserv*. 2002;29:134–153.
- [5] Katano O, Matsuzaki S. Biodiversity of freshwater fish in Japan in relation to Inland fisheries. *Biodiver. Observ. Network Asia-Pacific Reg*. 2012. [citado 29 de enero de 2020]. Disponible en: sci-hub.tw/10.1007/978-4-431-54032-8_29
- [6] Huang W. The study of ecological base flow value and compensation of Guangzhong section in Weihe River. Xi'an University of Technology; 2013.
- [7] Sang LH, Chen XQ, Huang W. Evolution of environmental flow methodologies for rivers. *Advances in Water Science*. 2006;17(5):754-760.
- [8] Acreman M, Dunbar MJ. Defining environmental river flow requirements - A review. *J. Hydrology and Earth System Sciences*. 2004;8(5):861-876.
- [9] Halwatura D, Najim MMM. Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment. *Environ Model Softw*. 2013;46:155-62.
- [10] Tennant DL. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *J. Fisheries*. 1976;1(4):6-10.
- [11] Karimi S, Salarijazi M, Ghorbani. River environmental flow assessment using Tennant, Tessman, FDC shifting and DRM hydrological methods. *J. Ecohydrology*. 2017;4(1):177-18.
- [12] Karimi S, Yasi M, Yasi S. Use of Hydrological Methods for Assessment of Environmental Flow in a River Reach. *J. of Environmental Science and Technology*. 2012;9(3):549-558.
- [13] Tian JH, Yu L, Zheng ZH. A study of ecological water use based on the improved tennant method. *Advanced Materials Research*. 2010 [citado 30 de enero de 2020]. Disponible en: <https://www.scientific.net/AMR.113-116.1504>.
- [14] Santa-Cruz G, Aguilar M. Estimación de los caudales ecológicos en el Río Valles con el método Tennant. *J. Hidrobiológica*. 2009;19(1):25-32.
- [15] Kumar R, Upadhyay A, Shekhar C, Singh P. The Yuman River Basin. Springer of Dordrecht Heidelberg; 2001.



- [16] Davudirad, A.A., Sadeghi, S.H.R., Sadoddin, A. The impact of development plans on hydrological changes in the Shazand Watershed, Iran. *J. Dev, Land Degrad.* 2016;27(4):1236–1244.
- [17] Hazbavi Z, Sadeghi SHR. Watershed health characterization using reliability resilience- vulnerability conceptual framework based on hydrological responses. *Dev, Land Degrad.* 2016;28(5):1528-1537.
- [18] Biemans H, Haddeland I, Kabat P et al. Impact of reservoirs on river flow discharge and irrigation water supply during the 20th century. *J. Water Resour. Res.* 2011;47. W03509.
- [19] Dai A. Historical and future changes in streamflow and continental runoff, in terrestrial water cycle and climate change: Natural and human- induced impacts. 2016;221:17-37.
- [20] Wu, J., Miao, C., Wang, Y., Duan, Q., Zhang, X. Contribution analysis of the long-term changes in seasonal runoff on the Loess Plateau, China, using eight Budyko-based methods. *J. Hydrol.* 2017;545:263-275.
- [21] Yang D, Li C, Hu H et al. Analysis of water resources variability in the Yellow River of China during the last half century using historical data. *J. Water Resour. Res.* 2004;40(6):1-12.
- [22] Gajbhiye S, Meshram C, Mirabbasi R, Sharma S. Trend analysis of rainfall time series for Sindh river watershed in India. *J. Theor. Appl. Climatol.* 2016;125(3):593–608.
- [23] Milano M, Reynarda E, Köplin N, Weingartner R. Climatic and anthropogenic changes in Western Switzerland: Impacts on water stress. *J. Sci. Total Environ.* 2015;536:12–24.
- [24] Nepal S. Impacts of climate change on the hydrological regime of the Koshi river basin in the Himalayan region. *J. Hydro-Environ. Res.* 2016;10:76–89.
- [25] Wang D and Hejazi M. Quantifying the relative contribution of the climate and direct human impacts on mean annual streamflow in the contiguous United States. *J. Water Resour. Res.* 2011;47(10):47 -69.
- [26] Tan X and Gan T. Contribution of human and climate change impacts to changes in streamflow of Canada. *J. Sci. Rep.* 2015;5:17767.
- [27] Labat D, Ronchail J, Guyot J. Recent advances in wavelet analyses: Part 2— Amazon, Parana, Orinoco and Congo discharges time scale variability. *J. Hydrol.* 2005;314(1):289-311.
- [28] Pasquini A and Depetris P. Discharge trends and flow dynamics of South American rivers draining the southern Atlantic seaboard: An overview. *J. Hydrol.* 2007;333(2):385-399.
- [29] Alkama R, Marchand L, Ribes A, Decharme B. Detection of global runoff changes: results from observations and CMIP5 experiments. *J. Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2013;17(7):2967-2979.



- [30] MAGAP 2003. Sistemas de Información – Ministerio de Agricultura y Ganadería. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/sipa/>
- [31] Guambo A, Arguello C, Romero J. El valor económico ambiental de los usuarios del servicio hidrológico de la Microcuenca del Río Cebadas, Provincia de Chimborazo. SATHIRI. 2016;11(1):206-219.
- [32] Morán. Hidrología para estudiantes de ingeniería civil. CivilGeeks.com. 2011 February 9. Disponible en: <https://civilgeeks.com/2011/02/09/hidrologia-para-estudiantes-de-ingenieria-civil/>
- [33] Caissie D, El-Jabi N. Comparison and regionalization of hydrologically based instream flow techniques in Atlantic Canada. J. Canadian of Civil Engineering. 1995;22(2):235-46.
- [34] Ouyang W, Hao FH, Chen H, Wang X, Yang ST. Ecological Instream Flow Requirements Calculation of Pihe River by Montana Methodology in Sichuan Basin China. 2015;8.
- [35] Kumar A, Mishra SK, Pandey RP. Prediction of environmental flow condition from rainfall using relationship between Tennant method and standardized precipitation index. 2017.
- [36] Milhous, RT. Two 1970's Methods for prescribing instream flow regimens. 2017;11.
- [37] Karimi S, Yasi M, Eslamian S. Use of hydrological methods for assessment of environmental flow in a river reach. J. International of Environmental Science and Technology. 2012;9(3):549-58.
- [38] Grayson R, Argent R. Estimation techniques in australian hydrology. J.Hydrological Recipes. 1996.
- [39] Sneyers, R. On the statistical analysis of series of observations. Organización Meteorológica Mundial. 1990;415(1).
- [40] Grayson R, Argent R. Estimation techniques in australian hydrology. J.Hydrological Recipes. 1996.
- [41] Lauro C, Vich A, Moreiras SM. Detección de tendencias y saltos abruptos en variables hidrológicas de cuencas de la región de Cuyo. 18.
- [42] Vich A, Norte F, Lauro C. Análisis Regional de Frecuencias de Caudales de ríos pertenecientes a cuencas con nacientes en la Cordillera de los Andes. J. Meteorológica. 2014.
- [43] Villar JCE, Lavado W, Julio J et al. Regional evolution of discharge throughout the Amazon basin for the period 1974- 2004 and its relation to climate factors.:24.
- [44] Paoli CU, Malinow GV. Criterios para la determinación de crecidas de diseño en sistemas climáticos cambiantes. Argentina: Universidad Nacional del Litoral; 2010.
- [45] Baeza D, García D. Cálculo de caudales de mantenimiento en ríos de la cuenca del Tajo a partir de variables climáticas y de sus cuencas. J. Limnética 1999;16:69-84.



- [46] Karimi S, Salarijazi M, Ghorbani. River environmental flow assessment using Tennant, Tessman, FDC shifting and DRM hydrological methods. *J. Ecohydrology*. 2017;4(1):177-18.
- [47] Santa-Cruz G, Aguilar M. Estimación de los caudales ecológicos en el Río Valles con el método Tennant. *J. Hidrobiológica*. 2009;19(1):25-32.
- [48] Kumar R, Upadhyay A, Shekhar C, Singh P. *The Yuman River Basin*. Springer; 2001.
- [49] King JM, Tharme RE, de Villiers MS. *Environmental flow assessments for rivers: manual for the building block methodology (updated edition)*. WRC Report No TT 354/08; 2008. 364 pp.
- [50] Dai A. Historical and future changes in streamflow and continental runoff, in terrestrial water cycle and climate change: Natural and human- induced impacts. 2016;221:17-37.
- [51] Alkama R, Decharme B, Douville H, Ribes A. Trends in global and basin- scale runoff over the late twentieth century: Methodological issues and sources of uncertainty. *J. Climate*. 2011;24(12):3000-3014.
- [52] Milliman JD, Farnsworth KL, Jones PD, Xu KH, Smith LC. Climatic and anthropogenic factors affecting river discharge to the global ocean, 1951– 2000. *J. Glob. Planet. Change*. 2008;62(3-4):187-194.