

DETERMINACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN EL RÍO CUTUCHI, ECUADOR

Mercy Ilbay-Yupa^{1*}, Paola Albarrasín¹, Víctor M García²

¹Carrera de Ambiente. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Técnica de Cotopaxi.

²Facultad de Recursos Naturales. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

E-mail: katherine.albarrasin9665@utc.edu.ec, victor.garcia@epoch.edu.ec

*Autor para la correspondencia: mercy.ilbay@utc.edu.ec

Recibido: 06-05-2020 / Aceptado: 27-7-2020 / Publicación: 31-8-2020

Editor Académico: Gilberto Colina

RESUMEN

La legislación del Ecuador obliga a mantener un caudal ecológico para preservar los ecosistemas y la biodiversidad. Sin embargo, son pocos los ríos en el país en los que se ha establecido el flujo mínimo. El objetivo de esta investigación fue determinar el caudal ecológico en el río Cutuchi, estación hidrológica Cutuchi A.J. Yanayacu (H792), mediante los métodos: Caudal de permanencia, Suizo, Tennant, Rafael Heras y Referencial. Adicionalmente, se comparó con el caudal ecológico al 10% del caudal medio mensual multianual establecido en la transitoria sexta de la ley ecuatoriana. También se analizaron las tendencias del caudal y la precipitación en la cuenca alta del río Patate. Los resultados evidencian un caudal promedio anual de 9,64 m³/s para el río Cutuchi, con dos regímenes hidrológicos (avenidas y estiaje) que responden a la distribución de las precipitaciones. La comparación de medias según la prueba de Tukey al 5%, determinó que los métodos Referenciales seguidos de Tennant, como adecuados para la sobrevivencia de la vida acuática en el río. De igual manera, los caudales estimados fueron superiores al caudal mínimo observado para el periodo 1990-2014. El análisis de tendencia mediante la prueba estadística de Mann-Kendall evidenció que el caudal anual y estacional presentaron cambios o tendencias significativas ($p < 0,01$). Sin embargo, la precipitación no mostró cambios de aumento o disminución durante los 20 años ($p < 0,05$).

Palabras clave: Río Cutuchi, Caudales ecológicos, método Referencial, Tennant.

ECOLOGICAL FLOW DETERMINATION ON THE CUTUCHI RIVER, ECUADOR

ABSTRACT

Ecuador's legislation requires maintaining an ecological flow to preserve ecosystems and biodiversity. However, few rivers in the country where the minimum flow has been established. The objective of this research was to determine the ecological flow in the Cutuchi River, Cutuchi A.J. Yanayacu hydrological station (H792), using the methods: Permanence Flow, Swiss, Tennant, Rafael Heras and Referential. In addition, it was compared with the ecological flow to 10% of the average monthly multi-year flow established in the transitional sixth of Ecuadorian law. Flow and precipitation trends in the upper Patate River basin were also analyzed. The results show an average annual flow of 9.64 m³/s for the Cutuchi River, with two hydrological regimes (avenues and styling) that respond to the distribution of precipitation. The

comparison of means according to the Tukey test at 5%, determined the Referential methods followed by Tennant, as suitable for the survival of aquatic life in the river. Similarly, the estimated flow rates were higher than the minimum flow observed for the period 1990-2014. Trend analysis using Mann-Kendall's statistical test showed that annual and seasonal flow showed significant changes or trends ($p < 0.01$). However, precipitation showed no changes in increase or decrease during the 20 years ($p < 0.05$).

Keywords: Cutuchi River, Ecological flows, Reference method, Tennant.

DETERMINAÇÃO DE CAUDAIS ECOLÓGICOS NO RIO CUTUCHI, EQUADOR

RESUMO

A legislação do Equador exige a manutenção de um fluxo ecológico para preservar os ecossistemas e a biodiversidade. No entanto, são poucos os rios do país nos quais o caudal mínimo foi estabelecido. O objetivo desta investigação foi determinar o fluxo ecológico no rio Cutuchi, estação hidrológica Cutuchi A.J Yanayacu (H792), utilizando os métodos: Fluxo de Permanência, Suíço, Tennant, Rafael Heras e Referencial. Adicionalmente foi comparado com o fluxo ecológico para 10% do fluxo médio mensal multianual estabelecido na transitória sexta da lei equatoriana. Foram também analisadas as tendências de caudal e a precipitação na bacia do rio Patate superior. Os resultados mostram um caudal médio anual de 9,64 m³/s para o rio Cutuchi, com dois regimes hidrológicos (avenidas e estiagem) que correspondem à distribuição da precipitação. A comparação das médias de acordo com o teste Tukey em 5%, determinou que os métodos de referência seguidos por Tennant, eram adequados para a sobrevivência da vida aquática. Da mesma forma, os caudais estimados foram superiores ao caudal mínimo observado para o período 1990-2014. A análise das tendências utilizando o teste estatístico de Mann-Kendall mostrou que o fluxo anual e sazonal apresentava alterações ou tendências significativas ($p < 0.01$). No entanto, a precipitação não apresentou alterações no aumento ou diminuição durante os 20 anos ($p < 0,05$).

Palavras chave: Rio Cutuchi, caudais ecológicos, método de Referência, Tennant.

Citación sugerida: Ilbay, M., Albarrasin, P., García, V. (2020). Determinación de caudales ecológicos en el río Cutuchi, Ecuador. Revista Bases de la Ciencia, 5(2), 33-52. DOI: 10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v5i2.2401 Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/2401>

Orcid IDs:

Ph.D. Mercy Ilbay-Yupa: <https://orcid.org/0000-0001-9503-2686>

Paola Albarrasin: <https://orcid.org/0000-0001-8249-8567>

MSc. Victor M García: <https://orcid.org/0000-0001-7137-8623>

Dr. Gilberto Colina: <https://orcid.org/0000-0002-6623-0760>

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de agua y los flujos reducidos como consecuencia del cambio climático está creando una presión cada vez mayor sobre los ríos (Davies, 2010). Esto provoca conflictos entre los sistemas humanos y el sistema ecológico del río (Arthington, Bunn, Poff, Naiman and 2006) y por lo tanto, las operaciones ecológicas, las prácticas y la investigación para determinar caudales ecológicos deben involucrar la reposición ecológica del agua de cuencas hidrográficas con nuevas herramientas de modelado (Yan, Zhou, Sang, Wang, 2018). Comprender la variabilidad del flujo, la importancia de la protección de la biodiversidad y el mantenimiento de los bienes y servicios que proporcionan los ríos es un gran desafío para los administradores y científicos del agua (Arthington et al., 2006). El caudal ejerce un gran impacto en el hábitat acuático, la morfología del río, la vida acuática, la conectividad del río y la calidad del agua (Richter, Baumgartner, Braun, Powell, 1998). Basado en la premisa de que la salud de un ecosistema fluvial se deteriora significativamente si el flujo cae por debajo de algún umbral, nace el concepto de flujo mínimo en la década de 1970. Sin embargo, los flujos altos son importantes para la limpieza de canales, mantenimiento de las llanuras de inundación y la vegetación ribereña; los flujos medios para el crecimiento y la migración de peces y los bajos para evitar la fragmentación del río, mantener la calidad del agua y como evidencia de que el río existe (Poff et al., 1997).

Para proporcionar orientación sobre el uso sostenible de los recursos hídricos de un río, se han desarrollado métodos ampliamente utilizados para el caudal ecológico de un río como: métodos hidrológicos (Brierley, Reid, Fryirs, Trahan, 2010; Brown, Gallardo, Williams, Torre, 2016; Pang, Xu, Wu, 2012), método hidráulicos (Benetti, Lanna, Salete, 2003; Kharrazi, Kraines, Hoang, Yarime, 2014; Ma, Luo, Yang, Lu, Fan, 2019; Mosley, 1982), métodos de hábitats (Cote, 2007; Karr, 1981; Moir, Gibbins, Soulsby, Youngson 2005;) y métodos holísticos (Hughes y Hannart, 2003; King, Brown, Sabet, 2003). Todos estos métodos son capaces de evaluar con precisión el estado de salud del río en función de sus propios modelos y de acuerdo con los indicadores correspondientes. Sin embargo, los tres últimos métodos requieren una gran cantidad de datos soportes y no se pueden aplicar a la mayoría de las zonas. Los métodos hidrológicos se basan en el régimen hidrológico fluvial registrado y suponen que un porcentaje del flujo medio garantizará un cierto nivel de protección de los ecosistemas (Yang, Xia, Yu, Guo, 2012). El método de Tennant o Montana es el más conocido y utilizado, su aplicación se fundamenta en porcentajes estándar de flujo medio para diferentes condiciones ecológicas (Tennant, 1976).

La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua 2014 en el Ecuador, Art. 76, define caudal ecológico como la “cantidad de agua, expresada en términos de magnitud, duración, época y frecuencia del caudal específico que se requieren para mantener un nivel adecuado de salud

en el ecosistema”. Para la determinación de los caudales ecológicos, la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) en coordinación con el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) determinará criterios, parámetros y metodología considerando las características y condiciones de los cuerpos de agua (sexta transitoria), pero, en la actualidad no se ha aprobado la reglamentación para la determinación de caudales ecológicos en el país. Por esta razón las autorizaciones para uso o aprovechamiento productivo del agua se realizan con base en el caudal ecológico al 10% del caudal medio mensual multianual del régimen natural de la fuente y se calcula considerando por lo menos 10 años de datos hidrológicos (sexta transitoria). La extracción de agua de muchos ríos del mundo sin establecer un caudal saludable, está provocando una degradación severa en los ecosistemas fluviales (Jain, 2012). Aunque la demanda ecológica de agua es una cuestión importante en la gestión de los recursos hídricos, poco se ha investigado sobre el caudal ecológico en el Ecuador y en especial para el río Cutuchi. El objetivo de esta investigación fue determinar el caudal ecológico por diferentes métodos hidrológicos y analizar las tendencias del caudal y la precipitación en la cuenca alta del río Patate.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El río Cutuchi nace de los deshielos del Cotopaxi, recorre de norte a sur, regando varias zonas agrícolas de la provincia de Cotopaxi (0.36°N - $1^{\circ}23'\text{S}$ y $78^{\circ}29'$ - $78^{\circ}32'$), hasta unirse al río Ambato y formar el río Patate (**Figura 1**). La subcuenca del río Patate es parte de la cuenca del río Pastaza, afluente del Amazonas (SENAGUA, 2009). El río Cutuchi se encuentra ubicado entre las cordilleras Oriental y Occidental de los Andes del Ecuador (**Figura 1**), su longitud aproximada es de 91.74 km y la altitud varía desde los 2240 a los 4004 msnm. La zona de estudio alberga 28488 habitantes, que corresponde al 65,6% de la población de Cotopaxi (INEC, 2010). El déficit hídrico, la contaminación y la mala administración del agua son los principales problemas (Reyes, Galárraga, Abraham, 2005). Con base en el índice de stress poblacional existe un déficit de $2.358 \text{ m}^3/\text{hab/año}$ y la calidad ambiental del río es mala (Lara, 2005). Estos problemas se deben a la inexistencia de tratamiento de efluentes, deposición abierta de residuos urbanos y ausencia de obras de control y regulación del agua (Reyes et al., 2005).

2.2. Datos

Se han recopilado datos de caudales mensuales en diez estaciones hidrológicas a lo largo del río Cutuchi, procedentes del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) (**Figura 1**). Para asegurar la mayor disponibilidad de datos consecutivos y menor porcentaje de datos faltantes,

se seleccionó la estación Cutuchi A.J. Yanayacu (H792) (**Figura 1**), para un periodo en común de 25 años (1990-2014). También, se consideró información de precipitación de cinco estaciones meteorológicas (**Tabla 1**).

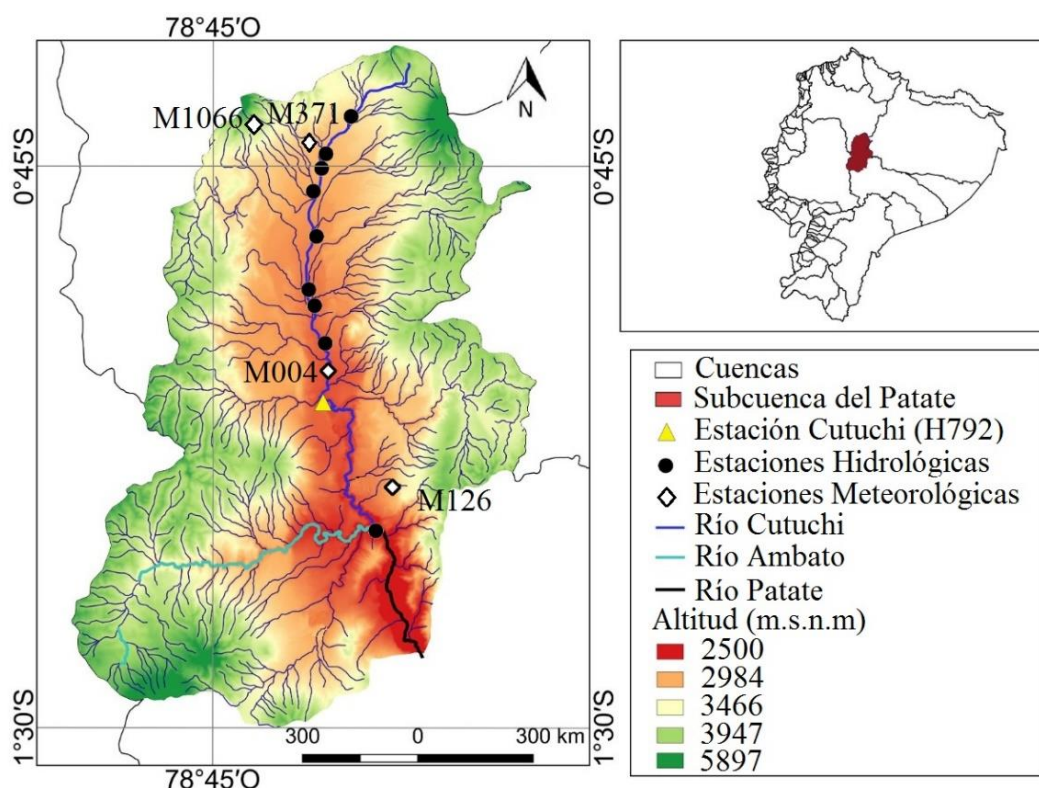


Figura 1. Localización del río Cutuchi, su altitud y distribución de las estaciones meteorológicas (rombos), hidrológicas (círculos negros) y la estación Cutuchi A.J. Yanayacu (triángulo amarillo)

Tabla 1. Características de las estaciones meteorológicas (M) e hidrológicas (H): nombre, código, ubicación geográfica y porcentaje de datos faltantes.

Nombre de la estación	Código	Latitud	Longitud	Altitud	% Datos faltantes
		(°S)	(°O)	msnm	
Cutuchi A.J. Yanayacu	H792	-1,07	-78,60	2582	3,0
Rumipamba-Salcedo	M004	-1,02	-78,59	2685	1,7
Patate	M126	-1,18	-78,51	2220	31,7
Cusubamba	M369	-1,07	-78,70	3175	11,4
Pastocalle	M371	-0,72	-78,63	3074	16,3
Cotopilalo INAMHI-CESA	M1066	-0,68	-78,70	3250	10,0

Fuente: los autores

2.3. Análisis exploratorio de datos y estimación de datos faltantes (AED)

Los datos de caudal y precipitación en la ingeniería y gestión de los recursos hídricos deben cumplir con los siguientes supuestos: estacionalidad, consistencia, homogeneidad e independencia. Por ello se aplicó el AED, este análisis estadístico permite determinar tendencias y/o cambios en los datos

hidrometeorológicos. El uso de la información sin previa evaluación de su consistencia, estructura y homogeneidad, establece un enfoque de caja negra que aumenta el grado de incertidumbre en la validez de los resultados de cualquier experimentación (Lobo, 2004). El porcentaje de datos faltantes de caudal para el periodo 1990 al 2014 fue menor al 10% (**Tabla 1**), información que fue estimada por el método de la media aritmética (Moran, 1989). La evaluación de la homogenización y validación de datos de precipitación de las seis estaciones meteorológicas se ejecutó por el método del vector regional (MVR), mediante el software Hydraccess disponible en <https://hybam.obs-mip.fr/es/website-under-development-3> (Vauchel, 2005), esta metodología ya fue validada para esta zona (Ilbay, Fonseca, Quichimbo, Lara, Tiche, 2017).

2.4. Régimen hidrológico

Se analizó las series de datos mensuales medios de caudales desde el año 1990 al 2014, para determinar periodos de avenida y estiaje. Se denomina avenida o crecida a la elevación de un curso de agua significativamente mayor o que supera el flujo promedio del mismo, en cambio el período de estiaje se considera al caudal medio mínimo o que se encuentra por debajo del flujo medio interanual (Alcázar, 2007). También, se identificaron los meses con mayor y menor precipitación en el área de estudio. Finalmente se analizó la variabilidad interanual de la precipitación y caudal mediante el coeficiente de variación anual (CV).

2.5. Determinación del caudal ecológico (Q_e)

2.5.1. Método de curva de permanencia de los caudales

También conocida como la curva de duración de caudales, es una técnica para visualizar el rango completo de caudales mínimos y máximos registrados (Smakhtin, 2001), mediante un hidrograma que se deriva del hidrograma del flujo total de la corriente mediante diversas técnicas de separación de flujo base (Hall, 1968). A partir de datos diarios de caudales mensuales se realiza la curva, tal caudal es igualado o excedido al 90% del tiempo de observación (Q₉₀), estimándose el caudal ecológico como el 5% del caudal igualado (ecuación 1) (Silveira y Silveira, 2001).

$$Q_E = 0,05 * (Q_{90}) \quad (1)$$

donde, Q_e es el caudal ecológico y Q₉₀ es el Caudal igualado al 90%.

2.5.2. Método Suizo

Este método matemático se basa en la legislación suiza, la cual indica un cálculo de caudales de estiaje para 374 días por año (Q₃₇₄) (Mayo, 2000), para obtener el valor de Q₃₇₄, se propone la ecuación 2.

$$Q_{374} = \frac{(a_0 * Q_m)}{10} \quad (2)$$

donde, Q_{374} es el caudal excedido a 374 días, Q_m es el caudal medio anual y a_0 coeficiente que toma los valores de 0,5; 1,0; 1,5 y 1,8.

Para la determinación del caudal ecológico por el método suizo se aplicó la ecuación 3, que permite calcular el caudal mínimo a partir de un caudal que circula como mínimo durante trescientos días al año:

$$Q_e = \frac{15 * Q_{347}}{(\ln Q_{347})^2} \quad (3)$$

donde, $\ln Q_{374}$ es el logaritmo natural del caudal excedido a 374 días.

2.5.3. Método Tennat o Montana

Es una metodología fácil y rápida, para proteger recursos acuáticos en corrientes de agua templada y fría, en función del caudal promedio, desarrollado por Tennant (1976) y USFWS (Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos) y fue considerada sobre una base relativamente amplia de hábitats, condiciones hidráulicas y biológicas. Este modelo se fundamenta en diferentes proporciones del flujo de agua promedio anual, vinculadas a diferentes condiciones ecológicas durante diferentes estaciones (**Tabla 2**). Se usa básicamente en corrientes que no tienen estructuras de regulación como represas, diques u otras modificaciones en el cauce (Zalucki y Arthington, 1998). Este método es muy utilizado con éxito en arroyos en todo Estados Unidos y en otras partes del mundo (Aguilar-Robledo, 2009; Bradford y Heinonen, 2008; Brown et al., 2016; Díez-Hernández, 2005; Rantz, 1964 y Santacrus de León).

Tabla 2. Regímenes de caudal continuo para peces, vida silvestre, recreación y recursos ambientales relacionados.

Base de conservación	Régimen fluvial	
	Oct - Mar (%)	Abr-Sept (%)
Máximo	200	200
Óptimo	60 a 100	60 a 100
Excepcional	40	60
Excelente	30	50
Bueno	20	40
Justo	10	30
Mínimo o Pobre	10	10
Degradación severa	10	10

Fuente: Tennant, 1976

2.5.4. Método de Rafael Heras

El método de Rafael Heras (1976) considera al caudal ecológico como el análisis del flujo en los períodos de sequía extrema. Se estima en primer lugar el caudal promedio (ecuación 4), de tres meses consecutivos de caudal mínimo.

$$Q_m = \frac{\sum_{i=1}^{n=3} Q_{\min}}{3} \quad (4)$$

Donde, Q_m es el caudal promedio y Q_{\min} caudal mínimo de tres meses consecutivos.

El caudal ecológico se calcula mediante la ecuación 5, que representa el 20% del caudal promedio (Q_m).

$$Q_e = 0.20 * Q_m \quad (5)$$

2.5.5. Método Referencial-Legislación Peruana

El caudal ecológico referencial se define como el caudal al 95% de persistencia $Q_{(95)}$; este se obtiene a partir de cada serie de datos medios mensuales, de una serie histórica de por lo menos 20 años. El procedimiento de cálculo se detalla a continuación:

- Ordenar la serie de caudales medios de mayor a menor, donde cada columna, representa los datos correspondientes a un mes específico.
- En una columna a la derecha de las series de datos, se coloca el número de orden de cada dato empezando desde 1 hasta “n”, donde n es el número de datos de caudales medios.
- En otra columna a la derecha de la columna anterior, calcular la probabilidad $p = m/N * 100$.
- Calcular los datos que corresponden $Q_{(95)}$ si en la columna de probabilidades, no se encuentra un valor exacto al 95%, se deberá interpolar los valores adyacentes (Autoridad Nacional del Agua, 2016).

2.5.6. Análisis comparativo

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) de los métodos de determinación de caudales ecológicos y de la legislación ecuatoriana ($Q_{10\%}$), previo el análisis de homogenización de las varianzas de los errores. Para determinar el mejor método dentro de este estudio se aplicó la prueba de Tukey al 5%.

2.6. Análisis de tendencias

Para detectar tendencias significativas en los datos de series anuales de precipitación y caudal, se utilizó la prueba estadística no paramétrica de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) a través de tres niveles de significancia (0,1; 0,5; 0,01). La prueba de Mann-Kendall es robusta cuando los valores difieren de la “normalidad” y es menos sensible a datos atípicos, es decir no se ven afectada

por la distribución real de los datos (Güçlü, 2018; Hamed, 2009). Esta prueba se ha utilizado ampliamente para evaluar tendencias en series de precipitación (Güçlü, 2018; Hamed, 2009; Irannezhad, Ronkanen, Kiani, Chen, Kløve, 2017; Zeleňáková et al., 2016) y concentración de las precipitaciones (Ilbay, Zubieta, Lavado, 2019; Valdés-Pineda et al., 2016). También, se realizó el análisis de tendencias para series anuales y periodos estacionales en el flujo del río Cutuchi.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Régimen hidrológico del río Cutuchi

Para el periodo 1990-2014 (25 años) el caudal promedio anual fue $9,64 \text{ m}^3/\text{s}$, desviación estándar anual de $\pm 3,63 \text{ m}^3/\text{s}$ y su distribución interanual considerando este promedio fue bimodal: una época de avenida que va de febrero a junio (FMAMJ), y otra de estiaje de julio a enero (JASONDE). Siendo mayo el mes que presentó el mayor caudal medio ($15,61 \text{ m}^3/\text{s}$) y agosto el mínimo ($5,61 \text{ m}^3/\text{s}$) (**Figura 2a**). En el río Cutuchi entre las coordenadas $1,07^\circ\text{S}$ y $78,6^\circ\text{O}$ el caudal máximo observado para un periodo de 25 años fue $40,9 \text{ m}^3/\text{s}$ en mayo del año 2000 y el mínimo ($2,72 \text{ m}^3/\text{s}$) fue en agosto de año 1990. De igual manera la precipitación mostró dos picos (bimodal), que va de febrero - mayo, seguida de otro pico menor de lluvia (octubre-diciembre) y una época seca (junio-septiembre) (**Figura 2b**), debido al ingreso alterno de masas de aire del Pacífico y las masas de aire amazónico (Buytaert, Celleri, Willems, Bièvre, Wyseure, 2006).

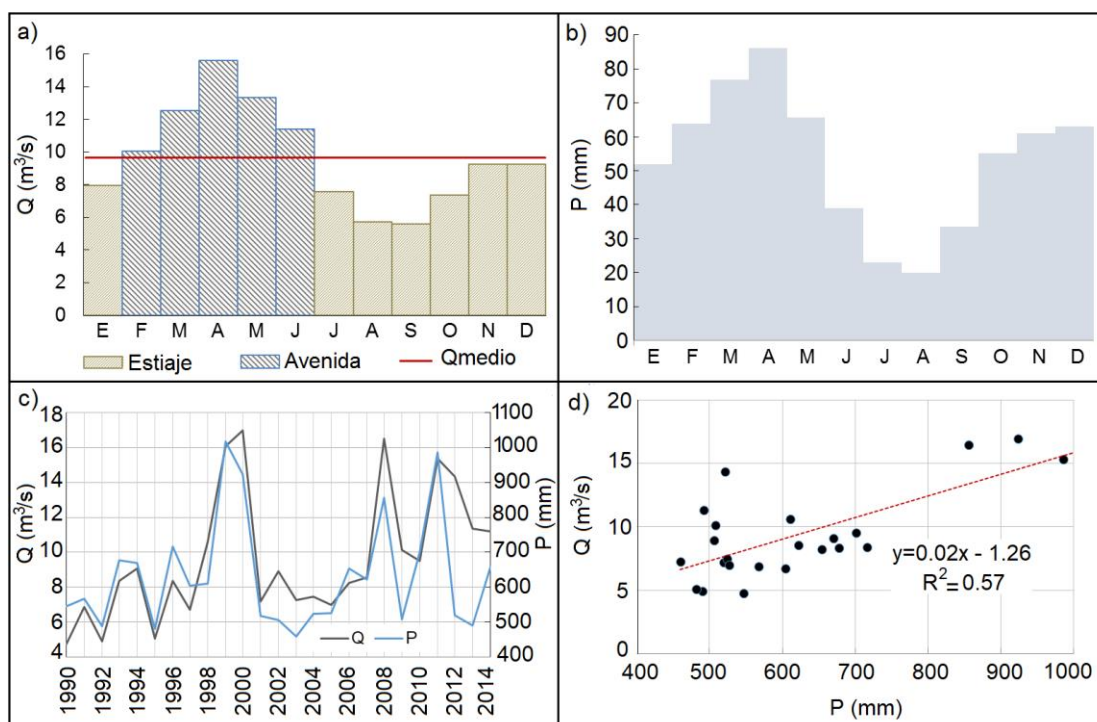


Figura 1. Regímenes de a) caudal; b) precipitación mensual; c) distribución anual del caudal y precipitación; d) Correlación de la precipitación y caudal para el periodo 1990 a 2014.

En la zona de estudio se encontró una gran variabilidad anual de caudal y precipitación ($CV > 0,3$), con picos para los años 1999-2000, 2008 y 2011 (**Figura 2 c**), estos máximos valores no coinciden con el fenómeno de El Niño, porque la lluvia extrema en los Andes del Ecuador está débilmente asociada a este evento (Rossel, Cadier, Gómez, 1996). En algunos años del fenómeno de El Niño coinciden con las precipitaciones medias (1997-98; 2014) e incluso déficit (2002-03; 2009-10) (**Figura 2 c**). Sin embargo, los valores extremos anuales pueden verse afectados por el Dipolo del Atlántico Sur, al ser una cuenca perteneciente al Amazonas (Nnamchi, Li, Anyadike, 2011).

La correlación entre precipitaciones y caudales anuales es significativa, donde la precipitación explica al menos el 75% de los caudales registrados ($p < 0,01$), con un coeficiente de determinación 0,57 (**Figura 2 d**), es decir, los años con altas precipitaciones se evidencia un mayor flujo en el río Cutuchi. No obstante, la bondad de ajuste del modelo estadístico no es la adecuada ($R^2 < 0,7$), al ser un río que nace del volcán Cotopaxi la fluctuación del caudal puede estar influenciado por una mayor fusión de nieve en periodos secos y una mayor cantidad de nieve acumulada durante años húmedos (Infante, Salomón, Guisasola, Delgado, 2018).

3.2. Caudal ecológico del río Cutuchi

3.2.1. Curva de permanencia de caudales

La curva de duración en el tramo inicial del río Cutuchi tiene una pendiente pronunciada, este resultado sugiere, que los mayores caudales se concentran en periodos cortos (marzo-mayo) (**Figura 3**), típica de una cuenca montañosa. La curva se ajusta al modelo logarítmico ($R^2 = 0,98$). El caudal ecológico al 5% de Q_{90} , fue $0,33 \text{ m}^3/\text{s}$ (**Figura 3b**), donde $6,63 \text{ m}^3/\text{s}$ (**Figura 3a**) es excedido o igualado en el 90% del tiempo de observación (Benetti et al., 2003). El caudal de $0,33 \text{ m}^3/\text{s}$ es muy inferior al caudal mínimo observado en los 25 años, esto podría provocar impactos negativos en la flora y fauna acuática del río Cutuchi. Esto se debe a la desventaja que presentan estos modelos, porque carecen de relevancia biológica y producen flujos bajos y estáticos que no reflejan la variabilidad en el flujo.

3.2.2. Método suizo

El caudal estimado a 347 días del año, en el río Cutuchi, para los diferentes coeficientes descritos en la sección 2.5.3 fue: 0,48; 0,96; 1,45 y $1,73 \text{ m}^3/\text{s}$; a partir de los cálculos anteriores se obtuvo un caudal ecológico de 0,19; 0,31; 0,41 y $0,47 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente. Se observó que los cuatro caudales ecológicos no superan al caudal medio del mes más seco (**Figura 3c**). Estos resultados también fueron encontrados por Mayo (2000), donde el caudal ecológico generado a través de la metodología suiza

fue establecido como insuficiente para cubrir la anchura media del cauce y una lámina de agua con profundidad suficiente aun para los peces de menor tamaño.

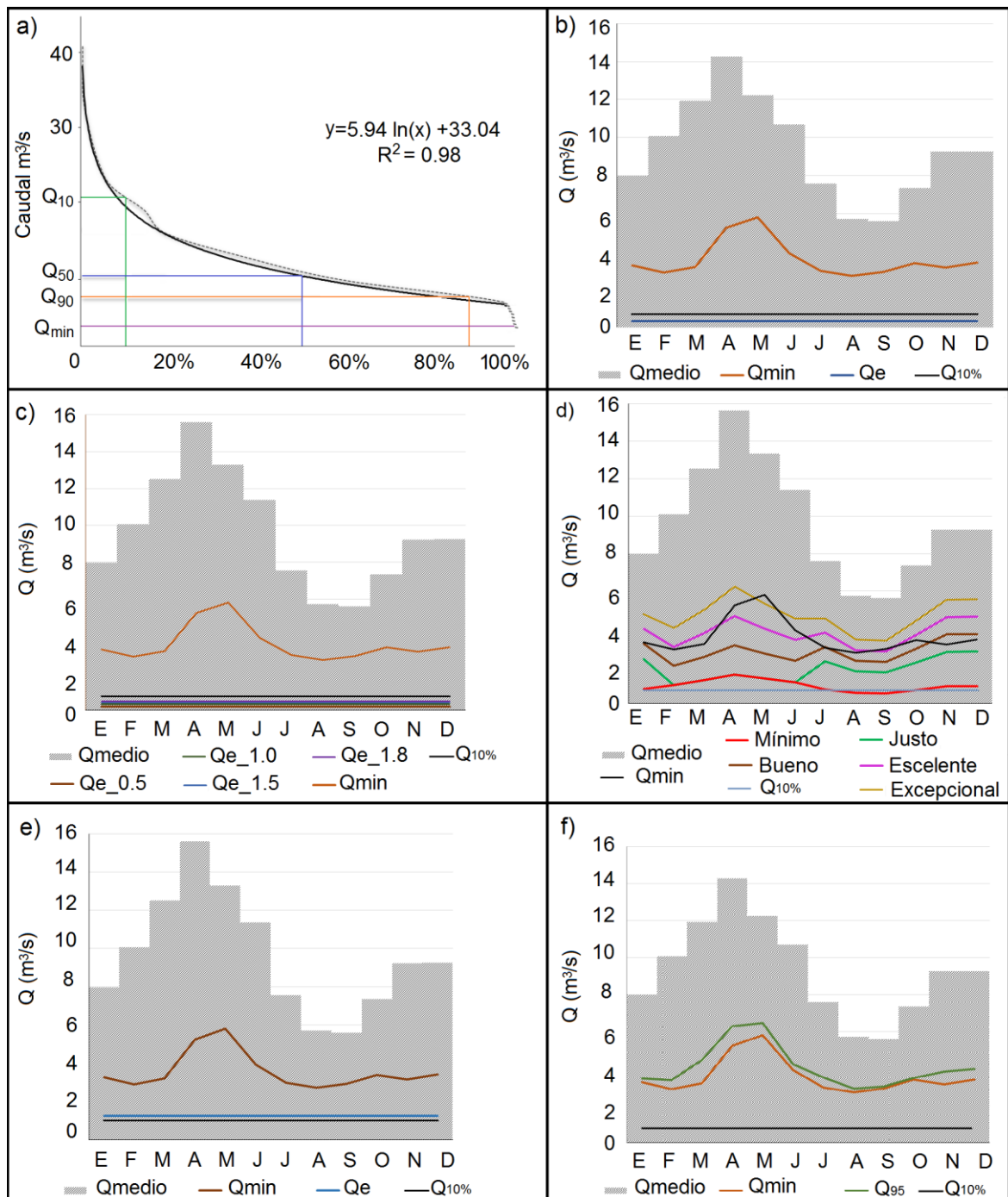


Figura 2. Caudal ecológico: a) Curva de duración de caudales por los métodos: b) curva de permanencia de caudales, c) suizo, d) Tennant, e) Rafael Heras, f) Referencial y su comparación con el caudal al 10% (Legislación ecuatoriana).

3.2.3. Método de Tennant

Se determinó que el caudal ecológico mensual corresponde a las bases de conservación, desde mínimo (10%) a sobresaliente (40-60%) (**Figura 3d**). Tennant (1976) recomienda los rangos de justo a excelente, porque estos tres regímenes cubrirán un rango de flujo para proteger el medio ambiente natural en la mayoría de las corrientes. El caudal ecológico seleccionado en este estudio fue el rango de bueno, es decir 20% y 40% del caudal medio anual para época de avenidas y estiaje respectivamente. Los caudales ecológicos mensuales para el estándar bueno están muy cercanos al caudal mínimo (**Figura 3d**), esto permitirá mantener la supervivencia para la mayoría de las formas de vida acuáticas, donde el ancho, profundidad y velocidad serán generalmente satisfactorios (Tennant, 1976). Sin embargo, el caudal excelente y excepcional se encuentra por encima del caudal mínimo del río.

3.2.4. Método Rafael Heras

A través del análisis de datos se demostró que los caudales menores o críticos se ubicaron en los meses de agosto con 5,75 m³/s, septiembre con 5,61 m³/s y octubre con 7,35 m³/s para el período 1990 – 2014, a su vez estos presentan un valor promedio de 6,23 m³/s. El caudal ecológico por el método de Rafael Heras fue de 1,25 m³/s. Al comparar el caudal por este método y el caudal mínimo observado para los 25 años de estudio (**Figura 3e**), se puede notar que en todos los meses, sus valores son inferiores, esto podría crear conflictos para la conservación de las características hidrológicas del río.

3.2.5. Método Referencial -Legislación Peruana

La normativa peruana establece un nivel de protección de los cauces basado en el cálculo del caudal ecológico o mínimo al 95%. En la **Figura 3f** el caudal ecológico (Q_e), no supera los meses al caudal mínimo, observado para el río Cutuchi para el periodo establecido (1990–2014). Estos resultados, evidencia que el Q_e por este método podría garantizar las particularidades del río.

Comparando los resultados de los cinco métodos con el caudal ecológico establecido al 10% del caudal medio mensual multianual (0,96 m³/s), se pudo evidenciar (**Figura 3**) que dicho flujo fue inferior al caudal establecido por el método de Tennant (**Figura 3d**), Rafael Heras (**Figura 3e**) y Referencial (**Figura 3f**) y superior al método de la curva de permanencia y el suizo (**Figura 3b y 3c**).

3.2.6. Análisis comparativo

El análisis de varianza (**Tabla 3**) muestra que hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$) para los métodos de determinación de caudales en el río Cutuchi.

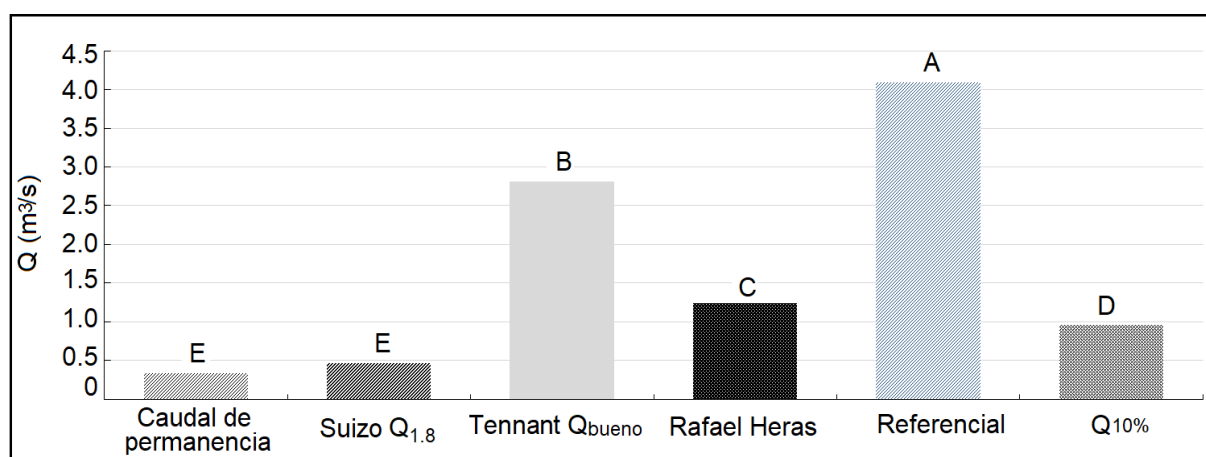
Tabla 1. Cuadrado medio del Análisis de varianza de los métodos de determinación de caudales.

Fuentes de variación	GL	CM
Métodos de determinación de caudal	5	26,55 **
Error	66	0,28

** nivel de probabilidad menor o igual a 0,01

GL = grados de libertad, CM = cuadrado medio

La comparación de medias según la prueba de Tukey al 5%, considerando caudales con ancho, profundidad y velocidad adecuada para la sobrevivencia de la vida acuática determinó cinco grupos de métodos (**Figura 4**). El mejor resultado fue para el método referencial-legislación Peruana ($\bar{X} = 4,09 \text{ m}^3/\text{s}$) y los métodos de curva de permanencia de caudales ($\bar{X} = 0,335 \text{ m}^3/\text{s}$) y el Suizo ($\bar{X} = 0,468 \text{ m}^3/\text{s}$) con valores menos apreciables.

**Figura 3.** Comparación de medias según Tukey 5% para los métodos de determinación de caudales.

3.3. Análisis de tendencias

La prueba estadística Mann-Kendall, reveló una tendencia de incremento significativo ($P < 0,01$) para el caudal anual (**Figura 5a**) y estacional (avenida y estiaje) (**Figura 5b y 5c**), para 25 años (1990-2014), es decir que existe un aumento del flujo de agua en el río Cutuchi, estación H792. El incremento del caudal puede estar relacionado con el proceso de desglaciación (Pizarro, Cabrera, Morales, Flores, 2011) En el Ecuador la pérdida de la cobertura glacial ha experimentado importantes cambios, en el caso del volcán Cotopaxi se reportó una pérdida del 30% aproximadamente para el año 1997 y 40% para el año 2006 (Cáceres, 2010). Otra razón por la que el caudal pudo incrementarse, podría ser por el aumento de las precipitaciones en regiones ubicadas al noroeste de la cuenca del Amazonas (Callède et al., 2004). Sin embargo, todas las estaciones de precipitación no muestran una tendencia significativa, para valores anuales y estacionales.

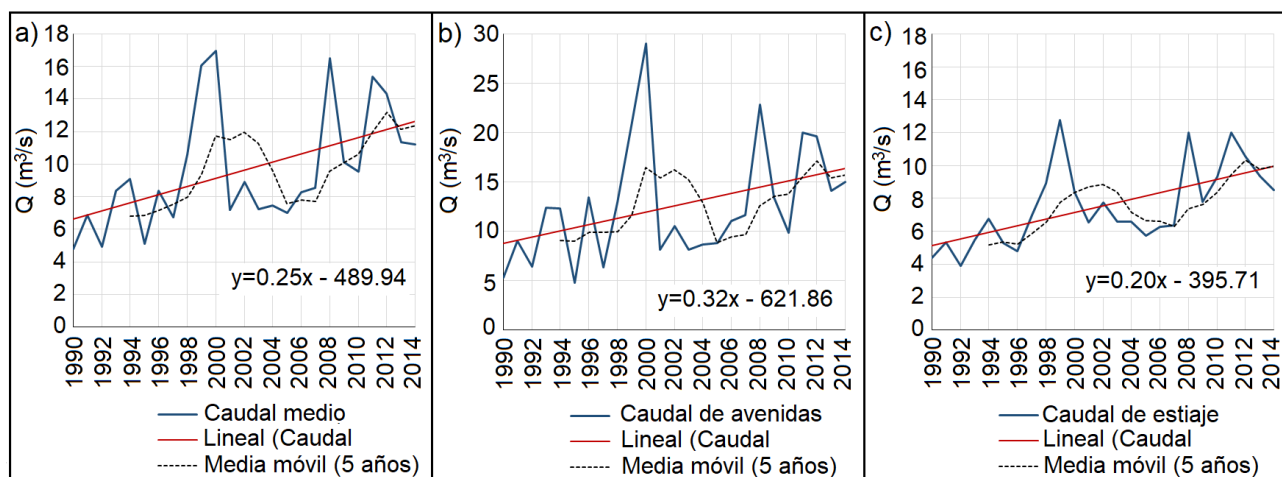


Figura 4. Series de a) caudal media anual, b) periodo de avenidas y c) estiaje, con tendencia significativas en el río Cutuchi al 99% de nivel de significancia para el periodo 1990-2014.

4. CONCLUSIONES

El estudio de la caracterización del río Cutuchi permitió identificar dos periodos: avenida (FMAMJ) y estiaje (JASONDE) y una gran variabilidad interanual; el régimen del caudal responde a la distribución de las precipitaciones. También se evidenció que el caudal anual y estacional presentaron cambios o tendencias significativas ($p < 0,01$) entre los años 1990 y 2014. Sin embargo, se recomienda el análisis para un periodo mayor y así, establecer tendencias claras de incremento del caudal. La precipitación por sí sola, no pudo explicar dicho aumento, siendo necesario abarcar el estudio de otros factores como la desglaciación.

Al comparar los cinco métodos de la determinación de caudales ecológicos con el caudal establecido al 10% del caudal medio mensual multianual, señalado en la transitoria sexta del reglamento de la ley ecuatoriana, se evidenció que el método Referencial-legislación Peruana, seguido del método de Tennant para una base de conservación buena, permiten la sobrevivencia de la vida acuática debido a que el ancho, profundidad y velocidad del flujo son adecuadas. Además, es importante asegurar en la época de estiaje el caudal ecológico estimado y estos dos métodos lograron superar el caudal mínimo mensual observado en 25 años.

Considerar el 10% del caudal multianual en un río de gran variabilidad interanual como el río Cutuchi podría conducir al desagüe completo en años de baja escorrentía e impactos ecológicos severos (Bunn, Thoms, Hamilton, Capon, 2006; Hamilton, Bunn, Thoms, Marshall, 2005).

5. REFERENCIAS

- Alcázar, A. (2007). El Método del Caudal Básico para la determinación de Caudales de Mantenimiento Aplicación a la Cuenca del Ebro. España: tesis doctoral. Recuperado de: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8236/Tjam1d1.pdf?sequence=1>
- Arthington, A., Bunn, S. Poff, N., & Naiman, R. (2006). The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. *Ecological Applications*, 16(4), 1311-1318. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[1311:TCOPEF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[1311:TCOPEF]2.0.CO;2)
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2016). Informe Técnico N° 037-2016-ANA-DCPRH-ERH-CLI/FCC de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos. Resolución Jefatura N°154-2016-ANA. Recuperado de: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/per158976anx.pdf>
- Benetti, A., Lanna, E., and Salete, M. (2003). Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas em Rios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8(2), 149-160. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v8n2.p149-160>
- Bradford, M. J., Heinonen, J. S. (2008). Low Flows, Instream Flow Needs and Fish Ecology in Small Streams. *Canadian Water Resources Journal*, 33(2), 165-180. <https://doi.org/10.4296/cwrj3302165>
- Brierley, G., Reid, H., Fryirs, K., & Trahan, N. (2010). What are we monitoring and why? Using geomorphic principles to frame eco-hydrological assessments of river condition. *Science of The Total Environment*, 408(9), 2025-2033. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.01.038>
- Brown, O., Gallardo, Y., Williams, P., Torre, Y. (2016). Caudal ecológico del río Chambas en la provincia Ciego de Ávila. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(1), 58-71. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382016000100005&lng=es&tlng=es
- Bunn, S. E., Thoms, M. C., Hamilton, S. K., Capon, S. J. (2006) Flow variability in dryland rivers: boom, bust and the bits in between. *River Res. Applic.*, 22(2), 179-186. <https://doi.org/10.1002/rra.904>
- Buytaert, W., Celleri, R., Willems, P., Bièvre, B.D., Wyseure, G. (2006). Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrology*, 329(3-4), 413-421. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.02.031>
- Cáceres, B. (2010). Actualización del inventario de tres casquetes glaciares del Ecuador. Informe de Pasantía de Investigación en Université Nice Sophia Antipolis. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/280637393_Actualizacion_del_inventario_de_tres_casquetes_glaciares_del_Ecuador
- Callède, J., Guyot, J. L., Ronchail, J., L'Hôte, Y., Niel, H., & Oliveira, E. (2004). Evolution du débit de l'Amazone à Obidos de 1903 à 1999/Evolution of the River Amazon's discharge at Óbidos from 1903 to 1999. *Hydrological Sciences-Journal*, 49(1), 85-97. <https://doi.org/10.1623/hysj.49.1.85.53992>
- Cote, D. (2007). Measurements of salmonid population performance in relation to habitat in eastern Newfoundland streams. *Journal of Fish Biology* 70(4), 1134-1147. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01384.x>
- Davies, P. M. (2010). Climate Change Implications for River Restoration in Global Biodiversity Hotspots. *Restoration Ecology* 18(3), 261-268. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2009.00648.x>
- Díez-Hernández, J. M. (2005). Bases metodológicas para el establecimiento de caudales ecológicos en el ordenamiento de cuencas hidrográficas. *Ingeniería y Competitividad*, 7(2), 11-18. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/2913/291323478002.pdf>
- Güçlü, Y. S. (2018). Multiple Şen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test. *Journal of Hydrology*, 566, 685-704. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.034>
- Hall, F. R. (1968). Base-Flow Recessions-A Review. *Water Resour. Res.*, 4(5), 973-983. <https://doi.org/10.1029/WR004i005p00973>
- Hamed, K. H. (2009). Exact distribution of the Mann-Kendall trend test statistic for persistent data. *Journal of Hydrology*, 365(1-2), 86-94. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.11.024>
- Hamilton, S. K., Bunn, S. E., Thoms, M. C., Marshall, J. C. (2005). Persistence of aquatic refugia between flow pulses in a dryland river system (Cooper Creek, Australia). *Limnol. Oceanogr.*, 50(3), 743-754. <https://doi.org/10.4319/lo.2005.50.3.0743>
- Heras, R. (1976). Hidrología y recursos hidráulicos. Dirección General de Obras Hidráulicas - Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid.
- Hughes, D. A., Hannart, P. (2003). A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirements of rivers in South Africa. *Journal of Hydrology*, 270(3-4), 167-181. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00290-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00290-1)
- Ilbay-Yupa, M. L., Fonseca Largo, K., Quichimbo Miguitama, A., Lara Landázuri, R., & Tiche Toasa, J. (2017). ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES DE PRECIPITACIÓN EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PATATE. *Revista Bases de la Ciencia*, 2(3), 37. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v2i3.1079

- Ilbay-Yupa, M., Zubietta, R., Lavado-Casimiro, W. (2019). Regionalization of precipitation, its aggressiveness and concentration in the Guayas river basin, Ecuador. *La Granja*, 30(2), 57. <https://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.06>
- INEC (2010). Resultados del censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador. Fascículo provincial Cotopaxi. Recuperado de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/cotopaxi.pdf>
- Infante, P., Salomón, M., Guisasaola, L., Delgado, J. (2018). Caudales ecológicos en el Río Grande. I Jornada de Divulgación de la Carrera de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo 1, 5. Recuperado de: https://bdigital.uncuyo.edu.ar/objetos_digitales/11289/infante.pdf
- Irannezhad, M., Ronkanen, A.-K., Kiani, S., Chen, D., Kløve, B. (2017). Long-term variability and trends in annual snowfall/total precipitation ratio in Finland and the role of atmospheric circulation patterns. *Cold Regions Science and Technology*, 143, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.08.008>
- Jain, S. K. (2012). Assessment of environmental flow requirements. *Hydrological Processes*, 26(22), 3472–3476. <https://doi.org/10.1002/hyp.9455>
- Karr, JR. (1981). Evaluación de la integridad biótica utilizando comunidades de peces. *Pesca*, 6 (6), 21–27. [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(1981\)006<0021:aobiuf>2.0.co;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1981)006<0021:aobiuf>2.0.co;2)
- Kendall, M. G. (1975). Rank Correlation Methods. 4th ed. Griffin, London, UK.
- Kharrazi, A., Kraines, S., Hoang, L., Yarime, M. (2014). Advancing quantification methods of sustainability: A critical examination energy, exergy, ecological footprint, and ecological information-based approaches. *Ecological Indicators*, 37(A), 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.10.003>
- King, J., Brown, C., Sabet, H. (2003). A scenario-based holistic approach to environmental flow assessments for rivers. *River Research and Applications*, 19 (5-6), 619–639. <https://doi.org/10.1002/rra.709>
- Lara, R. (2005). Páramo y contaminación. Recursos Hídricos y contaminación de la cuenca del río Cutuchi, Páramo. *Abya Yala [u.a.]*, Quito. Recuperado de: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/46426.pdf>
- Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua. (2014) Segundo Suplemento. Registro Oficial N° 305-Miércoles 6 de agosto de 2014 - 3. Recuperado de: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu165480.pdf>
- Lobo, D. (2004). Guía Metodológica para la delimitación del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe – CAZALAC – UNESCO PHI – Gobierno de Flandes. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/261286799_GUIA_METODOLOGICA_PARA_LA_ELABORACION_DEL_MAPA_DE_ZONAS_ARIDAS_SEMIARIDAS_Y_SUBHUMEDAS_SECAS_DE_AMERICA_LATINA_Y_EL_CARIBE/link/0c96052d9882fb7ded000000/download
- Ma, D., Luo, W., Yang, G., Lu, J., Fan, Y. (2019). A study on a river health assessment method based on ecological flow. *Ecological Modelling* 401, 144–154. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.11.023>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13(3), 245–259. Recuperado de: <https://www.jstor.com/stable/1907187>
- Mayo, M. (2000). Determinación de regímenes de caudales ecológicos mínimos. España: tesis doctoral. Recuperado de: <http://oa.upm.es/6671/07200013.pdf>
- Moir, H. J., Gibbins, C. N., Soulsby, C., Youngson, A. F. (2005). PHABSIM modelling of Atlantic salmon spawning habitat in an upland stream: testing the influence of habitat suitability indices on model output. *River Research and Applications*, 21(9), 1021–1034. <https://doi.org/10.1002/rra.869>
- Moran, W. (1989). Hidrología para estudiantes de ingeniería civil. CONCYTEC PUCP. 236 P. Recuperado de: <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia.pdf>
- Mosley, M. P. (1982). Analysis of the effect of changing discharge on channel morphology and instream uses in a Braided River, Ohau River, New Zealand. *Water Resour. Res.*, 18(4), 800–812. <https://doi.org/10.1029/WR018i004p00800>
- Nnamchi, H. C., Li, J., Anyadike, R. N. C. (2011). Does a dipole mode really exist in the South Atlantic Ocean? *J. Geophys. Res.*, 116(D15), 104. <https://doi.org/10.1029/2010JD015579>
- Pang, B., Xu, Z. X., Wu, W. (2012). Estimation of the ecological base flow of Wei River in Shaanxi province. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 1559–1568. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.148>
- Pizarro-Tapia, R., Cabrera-Jofre, C., Morales-Calderón, C., Flores-Villanelo, J. P. (2011). Variación temporal de las precipitaciones y caudales en la cuenca del Maipo, y la potencial influencia glaciar en la producción de agua (1963-2006). *Tecnología y ciencias del agua*, 2(3), 5-19. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222011000300001
- Poff, N., Allan, J. D., Bain, M., Karr, J., Prestegard, K., Richter, B., Sparks, R., Stromberg, J. (1997). The Natural Flow Regime: A Paradigm for River Conservation and Restoration. *Bioscience*, 47(11). Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/247932778_The_Natural_Flow_Regime_A_Paradigm_for_River_Conservation_and_Restoration

- Rantz, S. E. (1964). Stream hydrology related to the optimum discharge for King Salmon spawning in the northern California coast ranges (Report No. 1779AA), Water Supply Paper. <https://doi.org/10.3133/wsp1779AA>
- Reyes, D., Galárraga, R., Abraham, E. (2005). Determinación Ecológica de un organismo de cuenca en la Serranía ecuatoriana. Caso de estudio: la Cuenca del Río Cutuchi. V Foro Centroamericano y del Caribe de cuencas hidrográficas desarrollo de cuencas hidrográficas. Recuperado de: http://www.asicprimerazona.com.ar/asic/publicaciones/determinacion_ecohidrologica.pdf
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Braun, D. P., Powell, J. (1998). A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regulated Rivers: Research & Management*, 14(4), 329–340. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-1646\(199807/08\)14:4<329::aid-rrr505>3.0.co;2-e](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-1646(199807/08)14:4<329::aid-rrr505>3.0.co;2-e)
- Rossel, F., Cadier, E., Gómez, G. (1996). Las Inundaciones en la zona costera ecuatoriana: causas; obras de protección existentes y previstas. *Bull. Inst. fr. études andines*, 25(3), 399-420. Recuperado de: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers14-12/010011839.pdf
- Rojas, J. (2017). Tiempos de Avenida y Estiaje. SCRIB, 1. SCRIB. [Online] 1. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/348890332/Tiempos-de-Avenida-y-Estiaje>
- Santacruz de León, G., & Aguilar-Robledo, M. (2009). Estimación de los caudales ecológicos en el río Valles con el método Tennant. *Hidrobiológica*, 19(1), 25-32. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972009000100004&lng=es&nrm=iso. ISSN 0188-8897.
- SENAGUA (2009). Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador escala 1:250000. Quito, Ecuador. Recuperado de: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/PORTAL/IG/7_delimitacion_codificacion_metodologia_pfafstetter.pdf
- Silveira, L. A., Silveira, L. G. (2001). Caudales mínimos. Gestión de pequeñas cuencas hidrográficas. Hidrología Aplicada. Editorial ABRH, ISSN 0104-1169, Porto Alegre, Brasil.
- Smakhtin, V. U., (2001). Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology* 240(3-4), 147–186. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00340-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00340-1)
- Tennant, D. L. (1976). Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources. *Fisheries* 1, 6–10. [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(1976\)001<0006:IFRFFW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1976)001<0006:IFRFFW>2.0.CO;2)
- Valdés-Pineda, R., Pizarro, R., Valdés, J.B., Carrasco, J.F., García-Chevesich, P., Olivares, C. (2016). Spatio-temporal trends of precipitation, its aggressiveness and concentration, along the Pacific coast of South America (36–49°S). *Hydrological Sciences Journal*, 61(11), 2110–2132. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1085989>
- Vauchel, P. (2005). Hydraccess: Logiciel de gestion et traitement de données hydro météorologiques, version 2.1.4. Recuperado de: river ecosystems. *Ecological Applications*, 16(4), 1311-1318. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[1311:TCOPEF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[1311:TCOPEF]2.0.CO;2)
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2016). Informe Técnico N° 037-2016-ANA-DCPRH-ERH-CLI/FCC de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos. Resolución Jefatura N°154-2016-ANA. Recuperado de: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/per158976anx.pdf>
- Benetti, A., Lanna, E., and Salete, M. (2003). Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas em Rios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8(2), 149-160. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v8n2.p149-160>
- Bradford, M. J., Heinonen, J. S. (2008). Low Flows, Instream Flow Needs and Fish Ecology in Small Streams. *Canadian Water Resources Journal*, 33(2), 165–180. <https://doi.org/10.4296/cwrj3302165>
- Brierley, G., Reid, H., Fryirs, K., & Trahan, N. (2010). What are we monitoring and why? Using geomorphic principles to frame eco-hydrological assessments of river condition. *Science of The Total Environment*, 408(9), 2025–2033. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.01.038>
- Brown, O., Gallardo, Y., Williams, P., Torre, Y. (2016). Caudal ecológico del río Chambas en la provincia Ciego de Ávila. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(1), 58-71. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382016000100005&lng=es&tln=es
- Bunn, S. E., Thoms, M. C., Hamilton, S. K., Capon, S. J. (2006) Flow variability in dryland rivers: boom, bust and the bits in between. *River Res. Applic.*, 22(2), 179–186. <https://doi.org/10.1002/rra.904>
- Buytaert, W., Celleri, R., Willems, P., Bièvre, B.D., Wyseure, G. (2006). Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrology*, 329(3-4), 413–421. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.02.031>
- Cáceres, B. (2010). Actualización del inventario de tres casquetes glaciares del Ecuador. Informe de Pasantía de Investigación en Université Nice Sophia Antipolis. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/280637393_Actualizacion_del_inventario_de_tres_casquetes_glaciares_del_Ecuador

- Callède, J., Guyot, J. L., Ronchail, J., L'Hôte, Y., Niel, H., & Oliveira, E. (2004). Evolution du débit de l'Amazonie à Obidos de 1903 à 1999/Evolution of the River Amazon's discharge at Óbidos from 1903 to 1999. *Hydrological Sciences-Journal*, 49(1), 85-97. <https://doi.org/10.1623/hysj.49.1.85.53992>
- Cote, D. (2007). Measurements of salmonid population performance in relation to habitat in eastern Newfoundland streams. *Journal of Fish Biology* 70(4), 1134-1147. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01384.x>
- Davies, P. M. (2010). Climate Change Implications for River Restoration in Global Biodiversity Hotspots. *Restoration Ecology* 18(3), 261-268. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2009.00648.x>
- Díez-Hernández, J. M. (2005). Bases metodológicas para el establecimiento de caudales ecológicos en el ordenamiento de cuencas hidrográficas. *Ingeniería y Competitividad*, 7(2), 11-18. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/2913/291323478002.pdf>
- Güçlü, Y. S. (2018). Multiple Sen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test. *Journal of Hydrology*, 566, 685-704. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.034>
- Hall, F. R. (1968). Base-Flow Recessions-A Review. *Water Resour. Res.*, 4(5), 973-983. <https://doi.org/10.1029/WR004i005p00973>
- Hamed, K. H. (2009). Exact distribution of the Mann-Kendall trend test statistic for persistent data. *Journal of Hydrology*, 365(1-2), 86-94. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.11.024>
- Hamilton, S. K., Bunn, S. E., Thoms, M. C., Marshall, J. C. (2005). Persistence of aquatic refugia between flow pulses in a dryland river system (Cooper Creek, Australia). *Limnol. Oceanogr.*, 50(3), 743-754. <https://doi.org/10.4319/lo.2005.50.3.0743>
- Heras, R. (1976). Hidrología y recursos hidráulicos. Dirección General de Obras Hidráulicas - Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid.
- Hughes, D. A., Hannart, P. (2003). A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirements of rivers in South Africa. *Journal of Hydrology*, 270(3-4), 167-181. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00290-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00290-1)
- Ilbay-Yupa, M. L., Fonseca Largo, K., Quichimbo Miguitama, A., Lara Landázuri, R., & Tiche Toasa, J. (2017). ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES DE PRECIPITACIÓN EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PATATE. *Revista Bases de la Ciencia*, 2(3), 37. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v2i3.1079
- Ilbay-Yupa, M., Zubietta, R., Lavado-Casimiro, W. (2019). Regionalization of precipitation, its aggressiveness and concentration in the Guayas river basin, Ecuador. *La Granja*, 30(2), 57. <https://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.06>
- INEC (2010). Resultados del censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador. Fascículo provincial Cotopaxi. Recuperado de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/cotopaxi.pdf>
- Infante, P., Salomón, M., Guisasaola, L., Delgado, J. (2018). Caudales ecológicos en el Río Grande. I Jornada de Divulgación de la Carrera de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo 1, 5. Recuperado de: https://bdigital.uncuyo.edu.ar/objetos_digitales/11289/infante.pdf
- Irannezhad, M., Ronkanen, A.-K., Kiani, S., Chen, D., Kløve, B. (2017). Long-term variability and trends in annual snowfall/total precipitation ratio in Finland and the role of atmospheric circulation patterns. *Cold Regions Science and Technology*, 143, 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.08.008>
- Jain, S. K. (2012). Assessment of environmental flow requirements. *Hydrological Processes*, 26(22), 3472-3476. <https://doi.org/10.1002/hyp.9455>
- Karr, JR. (1981). Evaluación de la integridad biótica utilizando comunidades de peces. *Pesca*, 6 (6), 21-27. [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(1981\)006<0021:aobiuf>2.0.co;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1981)006<0021:aobiuf>2.0.co;2)
- Kendall, M. G. (1975). Rank Correlation Methods. 4th ed. Griffin, London, UK.
- Kharrazi, A., Kraines, S., Hoang, L., Yarime, M. (2014). Advancing quantification methods of sustainability: A critical examination emergy, exergy, ecological footprint, and ecological information-based approaches. *Ecological Indicators*, 37(A), 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.10.003>
- King, J., Brown, C., Sabet, H. (2003). A scenario-based holistic approach to environmental flow assessments for rivers. *River Research and Applications*, 19 (5-6), 619-639. <https://doi.org/10.1002/rra.709>
- Lara, R. (2005). Páramo y contaminación. Recursos Hídricos y contaminación de la cuenca del río Cutuchi, Páramo. *Abya Yala [u.a.]*, Quito. Recuperado de: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/46426.pdf>
- Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua. (2014) Segundo Suplemento. Registro Oficial N° 305-Miércoles 6 de agosto de 2014 - 3. Recuperado de: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu165480.pdf>

- Lobo, D. (2004). Guía Metodológica para la delimitación del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe – CAZALAC – UNESCO PHI – Gobierno de Flandes. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/261286799_GUIA_METODOLOGICA_PARA_LA_ELABORACION_DEL_MAPA_DE_ZONAS_ARIDAS_SEMIARIDAS_Y_SUBHUMEDAS_SECAS_DE_AMERICA_LATINA_Y_EL_CARIBE/link/0c96052d9882fb7ded000000/download
- Ma, D., Luo, W., Yang, G., Lu, J., Fan, Y. (2019). A study on a river health assessment method based on ecological flow. *Ecological Modelling* 401, 144–154. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.11.023>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13(3), 245–259. Recuperado de: <https://www.jstor.com/stable/1907187>
- Mayo, M. (2000). Determinación de regímenes de caudales ecológicos mínimos. España: tesis doctoral. Recuperado de: <http://oa.upm.es/667/1/07200013.pdf>
- Moir, H. J., Gibbins, C. N., Soulsby, C., Youngson, A. F. (2005). PHABSIM modelling of Atlantic salmon spawning habitat in an upland stream: testing the influence of habitat suitability indices on model output. *River Research and Applications*, 21(9), 1021–1034. <https://doi.org/10.1002/rra.869>
- Moran, W. (1989). Hidrología para estudiantes de ingeniería civil. CONCYTEC PUCP. 236 P. Recuperado de: <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia.pdf>
- Mosley, M. P. (1982). Analysis of the effect of changing discharge on channel morphology and instream uses in a Braided River, Ohau River, New Zealand. *Water Resour. Res.*, 18(4), 800–812. <https://doi.org/10.1029/WR018i004p00800>
- Nnamchi, H. C., Li, J., Anyadike, R. N. C. (2011). Does a dipole mode really exist in the South Atlantic Ocean? *J. Geophys. Res.*, 116(D15), 104. <https://doi.org/10.1029/2010JD015579>
- Pang, B., Xu, Z. X., Wu, W. (2012). Estimation of the ecological base flow of Wei River in Shaanxi province. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 1559–1568. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.148>
- Pizarro-Tapia, R., Cabrera-Jofre, C., Morales-Calderón, C., Flores-Villanelo, J. P. (2011). Variación temporal de las precipitaciones y caudales en la cuenca del Maipo, y la potencial influencia glaciar en la producción de agua (1963-2006). *Tecnología y ciencias del agua*, 2(3), 5-19. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222011000300001
- Poff, N., Allan, J. D., Bain, M., Karr, J., Prestegard, K., Richter, B., Sparks, R., Stromberg, J. (1997). The Natural Flow Regime: A Paradigm for River Conservation and Restoration. *Bioscience*, 47(11). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/247932778_The_Natural_Flow_Regime_A_Paradigm_for_River_Conservation_and_Restoration
- Rantz, S. E. (1964). Stream hydrology related to the optimum discharge for King Salmon spawning in the northern California coast ranges (Report No. 1779AA), Water Supply Paper. <https://doi.org/10.3133/wsp1779AA>
- Reyes, D., Galárraga, R., Abraham, E. (2005). Determinación Ecohidrológica de un organismo de cuenca en la Serranía ecuatoriana. Caso de estudio: la Cuenca del Río Cutuchi. V Foro Centroamericano y del Caribe de cuencas hidrográficas desarrollo de cuencas hidrográficas. Recuperado de: http://www.asicprimerazona.com.ar/asic/publicaciones/determinacion_ecohidrologica.pdf
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Braun, D. P., Powell, J. (1998). A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regulated Rivers: Research & Management*, 14(4), 329–340. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-1646\(199807/08\)14:4<329::aid-rrr505>3.0.co;2-e](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-1646(199807/08)14:4<329::aid-rrr505>3.0.co;2-e)
- Rossel, F., Cadier, E., Gómez, G. (1996). Las Inundaciones en la zona costera ecuatoriana: causas; obras de protección existentes y previstas. *Bull. Inst. fr. études andines*, 25(3), 399–420. Recuperado de: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers14-12/010011839.pdf
- Rojas, J. (2017). Tiempos de Avenida y Estiaje. SCRIB, 1. SCRIB. [Online] 1. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/348890332/Tiempos-de-Avenida-y-Estiaje>
- Santacrus de León, G., & Aguilar-Robledo, M. (2009). Estimación de los caudales ecológicos en el río Valles con el método Tennant. *Hidrobiológica*, 19(1), 25–32. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972009000100004&lng=es&nrm=iso. ISSN 0188-8897.
- SENAGUA (2009). Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador escala 1:250000. Quito, Ecuador. Recuperado de: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/PORTAL/IG/7_delimitacion_codificacion_metodologia_pfafstetter.pdf
- Silveira, L. A., Silveira, L. G. (2001). Caudales mínimos. Gestión de pequeñas cuencas hidrográficas. Hidrología Aplicada. Editorial ABRH, ISSN 0104-1169, Porto Alegre, Brasil.

- Smakhtin, V. U., (2001). Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology* 240(3-4), 147–186. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00340-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00340-1)
- Tennant, D. L. (1976). Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources. *Fisheries* 1, 6–10. [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(1976\)001<0006:IFRFFW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1976)001<0006:IFRFFW>2.0.CO;2)
- Valdés-Pineda, R., Pizarro, R., Valdés, J.B., Carrasco, J.F., García-Chevesich, P., Olivares, C. (2016). Spatio-temporal trends of precipitation, its aggressiveness and concentration, along the Pacific coast of South America (36–49°S). *Hydrological Sciences Journal*, 61(11), 2110–2132. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1085989>
- Vauchel, P. (2005). Hydraccess: Logiciel de gestion et traitement de données hydro météorologiques, version 2.1.4. Recuperado de: <https://hybam.obs-mip.fr/es/website-under-development-3/>
- Yan, Z., Zhou, Z., Sang, X., Wang, H. (2018). Water replenishment for ecological flow with an improved water resources allocation model. *Science of The Total Environment*, 643, 1152–1165. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.085>
- Yang, F., Xia, Z., Yu, L., Guo, L. (2012). Calculation and Analysis of the Instream Ecological Flow for the Irtys River. *Procedia Engineering*, 28, 438–441. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.747>
- Zalucki, J., Arthington, A. (1998). Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment Techniques: Review of Methods. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/228701645 Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment Techniques Review of Methods](https://www.researchgate.net/publication/228701645_Comparative_Evaluation_of_Environmental_Flow_Assessment_Techniques_Review_of_Methods)
- Zeleňáková, M., Purcz, P., Poárová, Z., Alkhalaf, I., Hlavatá, H., Portela, M.M. (2016). Monthly Trends of Precipitation in Gauging Stations in Slovakia. *Procedia Engineering* 162, 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.023>
- Yan, Z., Zhou, Z., Sang, X., Wang, H. (2018). Water replenishment for ecological flow with an improved water resources allocation model. *Science of The Total Environment*, 643, 1152–1165. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.085>
- Yang, F., Xia, Z., Yu, L., Guo, L. (2012). Calculation and Analysis of the Instream Ecological Flow for the Irtys River. *Procedia Engineering*, 28, 438–441. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.747>
- Zalucki, J., Arthington, A. (1998). Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment Techniques: Review of Methods. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/228701645 Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment Techniques Review of Methods](https://www.researchgate.net/publication/228701645_Comparative_Evaluation_of_Environmental_Flow_Assessment_Techniques_Review_of_Methods)
- Zeleňáková, M., Purcz, P., Poárová, Z., Alkhalaf, I., Hlavatá, H., Portela, M.M. (2016). Monthly Trends of Precipitation in Gauging Stations in Slovakia. *Procedia Engineering* 162, 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.023>