

Determinación del caudal ambiental en el río Birrís, Costa Rica

Determination of Environmental Flow of the Birrís River, Costa Rica

Isabel Guzmán-Arias¹, Fernando Watson², Karolina Villagra-Mendoza³

Fecha de recepción: 12 de diciembre de 2018

Fecha de aceptación: 17 de febrero de 2019

Guzmán-Arias, I; Watson, F; Villagran-Mendoza, K. Determinación del caudal ambiental en el río Birrís, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32-4. Octubre-Diciembre 2019. Pág 18-27.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i4.4786>

1 Escuela de Ingeniería Agrícola. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
Correo electrónico: iguzman@tec.ac.cr.

 <https://orcid.org/0000-0002-5553-3977>

2 Escuela de Ingeniería Agrícola. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
Correo electrónico: fwatson@tec.ac.cr.

 <https://orcid.org/0000-0001-8258-4668>

3 Escuela de Ingeniería Agrícola. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
Correo electrónico: kvillagra@tec.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0002-2335-0615>



Palabras clave

Caudal ambiental; hidrológico; curva de duración; régimen de caudal.

Resumen

En Costa Rica el caudal ambiental se calcula como un 10% del aforo caudal medio del río. Este porcentaje ha carecido de fundamento científico en relación con las condiciones fluviales aptas para preservar los ecosistemas presentes en los cauces. Las concesiones de agua para los diferentes usos han provocado un impacto en disponibilidad de agua para algunos lugares y épocas del año y en la calidad del recurso transformando las condiciones fisicoquímicas y ecológicas de los cauces. Del sistema fluvial del río Birrís, se concede un 20% para uso consuntivo como producción agrícola, humano y riego, y el restante se utiliza para la generación hidroeléctrica. Debido a la baja calidad de sus aguas a la fecha no existen especies indicadoras lo que imposibilita el uso de enfoques que tomen en cuenta los ecosistemas para generar curvas de preferencia. El presente trabajo utilizó un enfoque hidrológico para determinar el caudal ambiental del río Birrís usando la metodología de curva de duración de caudales. Se basó en el análisis de series de datos de clima obtenidas por 10 años y series de caudales diarios de un periodo de tres años. Se realizaron tres aforos de biota y flujo en tres puntos distribuidos a lo largo del cauce principal distribuidos en un periodo de un año. Finalmente, se determinó el caudal ambiental para un régimen de flujo basado en valores medios mensuales.

Keywords

Environmental flow; hydrologic; duration curve; flow regime.

Abstract

In Costa Rica, the environmental flow corresponds to 10% of the average river flow. This percentage has lacked of scientific basis in relation to the fluvial conditions suitable for preserving the ecosystems present in the river. Water concessions for the main uses (human, agricultural and hydroelectric) have caused environmental damages, transforming the physical and chemical conditions of the channels. Of the water flow of the Birrís River, 20% is granted for consumptive use as agricultural, human and irrigation production, and the rest is used for hydroelectric generation. Due to the low quality of its waters to date there are no indicator species that makes it impossible to use approaches that take into account ecosystems to generate preference curves. The present work used a hydrological approach to determine the environmental flow of the Birrís River using the flow duration curve methodology. It is based on the analysis of series of climate data obtained for 10 years and series of daily flows from a period of three years. Three outflows of biota and flow were made in three points distributed along the main channel distributed over a period of one year. Finally, the environmental flow was determined based on the flow regime of the average monthly values.

Introducción

El desarrollo de las actividades socio-económicas ha ido creciendo de la mano con el incremento en el aprovechamiento del recurso hídrico. Adicionalmente, en los últimos años las condiciones climáticas se han vuelto extremas (períodos de largas sequías y lluvias extremas) comprometiendo las reservas de agua en las cuencas y amenazando el desarrollo y mantenimiento de los ecosistemas fluviales. Así mismo, el régimen natural de los ríos, los

ecosistemas fluviales y los servicios que se obtienen de estos sistemas se encuentra bajo una fuerte presión volviéndose cada vez más susceptibles a la intervención del hombre [1]. Por esta razón es necesario procurar hacer un aprovechamiento del agua bajo un enfoque de gestión integrada del recurso hídrico con el fin de garantizar la sostenibilidad del recurso y todos los beneficios asociados a él.

El uso sustentable del agua se define como caudal ambiental. La Declaración de Brisbane 2007 define al caudal ambiental como la cantidad, periodicidad y calidad del cauce de un río requerido para sostener los ecosistemas de las aguas dulces, estuarios y las vidas humanas que dependen de estos ecosistemas. Existen más de 200 metodologías usadas en más de 50 países alrededor del mundo [2]. Entre estas, las más utilizadas corresponden a la metodología hidrológica (29.5%), a pesar de que algunos autores no la recomiendan por no incluir la variable de hábitat o especies; la metodología de simulación de hábitat o hidrobiológica (28%), la hidráulica (11.1%) y la holística (7.7%). Además, en algunos países se han aplicado metodologías combinadas (16.9%) [2].

Para la determinación del caudal ambiental, algunos autores recomiendan considerar la variabilidad de los regímenes de los cauces en términos de magnitud, frecuencia y duración [3], [4]. Otros recomiendan el uso de metodologías que incluyan las variables climáticas, fisiográficas y ecológicas. Por ejemplo, [4] no recomiendan el uso de metodologías hidrológicas ya que no contribuyen a dar una solución integral a la relación régimen del río y condiciones ecológicas. [5] proponen para México el uso de metodologías que van desde las más simples (por ejemplo la hidrológica de Tennant adaptada a México) hasta el método holístico. [6] relacionaron la interacción entre variabilidad en el régimen del cauce del río Tempisque en Costa Rica con el desarrollo de especies indicadoras del cauce y propusieron un caudal ambiental basado en los caudales mínimos históricos. Por otro lado, [7] resume la posición de diversos autores que reconocen que el caudal mínimo es inadecuado para establecer el caudal ambiental. Contrariamente, recomiendan basar el caudal ambiental en la variación temporal de los caudales, por ejemplo, magnitud, frecuencia, periodicidad, duración y grado de cambio de los eventos de flujo en los ríos. [8] utilizaron variables indicadoras de calidad del agua como demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y oxígeno disuelto (OD) para establecer el caudal ambiental y concluyeron que el Q95 estimaba mejor el caudal ambiental y que el 7Q10 subestimaba los caudales ambientales. [9] compararon el caudal ambiental obtenido mediante enfoques hidrológicos e hidráulicos y reportó una pluralidad en los resultados, así mismo concluyó que la escogencia de un método de cálculo debe obedecer a criterios más allá de solo el método de cálculo sino que debe tomar en consideración criterios de caudal que garanticen la supervivencia de las especies y que permita aprovechar el recurso hídrico para los principales usos.

Este estudio propone la determinación del caudal ambiental para la cuenca del río Birrís basado en una adaptación del método de Hoppe utilizando el índice de curvas de duración con el fin de promover el uso sostenible del agua en el marco de concesiones de agua.

Materiales y Métodos

La cuenca del río Birrís pertenece a la cuenca alta del río Reventazón y se encuentra entre las coordenadas 551 000 – 561 000 Este y 205 000 – 218 000 Norte basado en las coordenadas Lambert Norte Costa Rica. Se ubica en la provincia de Cartago y las aguas reciben influencia de los cantones de Oreamuno, Alvarado, Paraíso y Pacayas. La cuenca comprende 83.5 hectáreas e inicia en las faldas del Volcán Irazú (3400 msnm) hasta los 100 msnm donde confluye con el río Reventazón (figura 1).

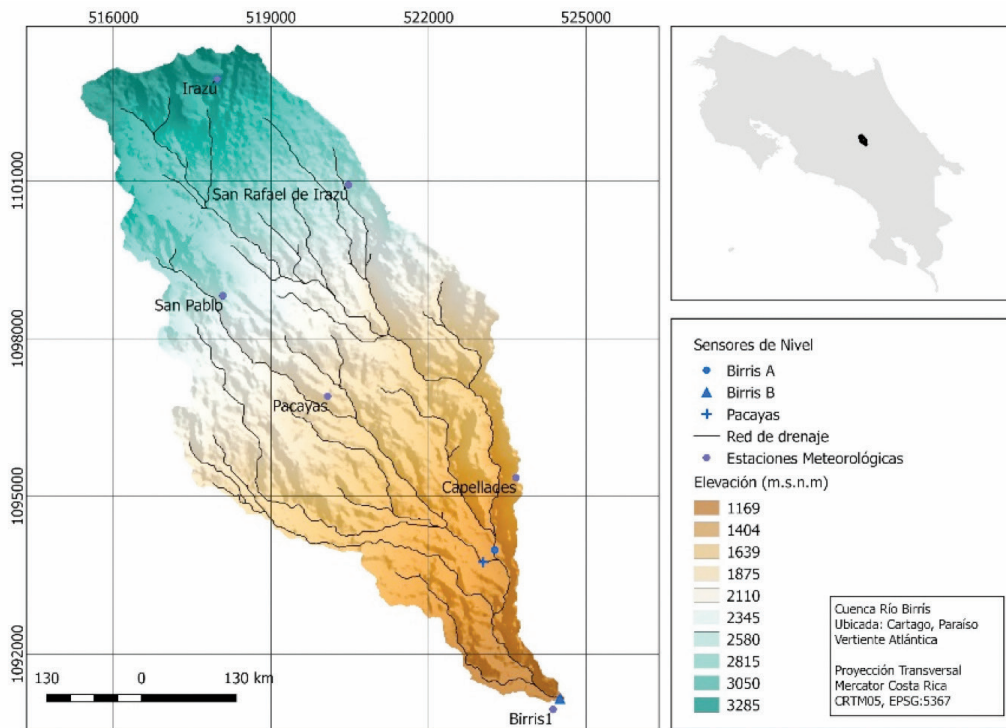


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Birris.

.Los suelos son profundos de origen volcánico clasificados como Andisoles [10]. Por medio de una clasificación semisupervisada en Qgis, utilizando imágenes multiespectrales Sentinel 2, se muestra que la parte alta de la cuenca presenta alta densidad de cobertura vegetal en forma de bosque (29%) y hacia la parte media y baja las tierras se usan más para la agricultura, especialmente pastos y hortalizas (42.6%). En la cuenca del Birris se encuentran todos los usos (consuntivos y no consuntivos). El agua se aprovecha en la industria (cuyo uso es despreciable), la producción agrícola de hortalizas (8.8%), consumo humano en términos de agua potable (11.3%) y generación hidroeléctrica (79.9%). Se realizaron estudios biológicos en diferentes periodos para diagnosticar el comportamiento biológico del río Birris. Las series de clima (precipitación y temperatura) se obtuvieron de los registros históricos de las estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca obtenidos por medio del polígono de Thiessen. Además, se instalaron dos pluviómetros en la cuenca para utilizar esta información para correlacionar los datos faltantes y utilizar un análisis de regresión para la completación de las series de datos. Las series de caudal se obtuvieron de registros históricos.

De acuerdo a los resultados obtenidos del estudio biológico y las condiciones fisiográficas, hidráulicas y de concesiones de la cuenca se determinó que la metodología que mejor se adaptaba a la cuenca del río Birris era la del método del índice de curvas de duración (CDC). La modelación hidrológica se realizó con el software HBVlight v.2 [11]. Dicha modelación se dividió en dos partes: la calibración y la simulación. El pre-proceso incluyó la entrada de las series de precipitación y temperaturas diarias (2007 al 2017) y caudales diarios observados (2013 al 2016), Con estas series de datos se obtuvieron las series de caudales simulados del 2007 al 2017. Para el post-proceso se utilizaron los caudales teóricos y el coeficiente de Nash para realizar el ajuste de los modelos y obtener los parámetros de calibración del 2013 al 2016. Estos parámetros de calibración se utilizaron para realizar las simulaciones del periodo de 10 años (del 2007 al 2017) y obtener los caudales simulados para toda la serie de datos (figura 2).

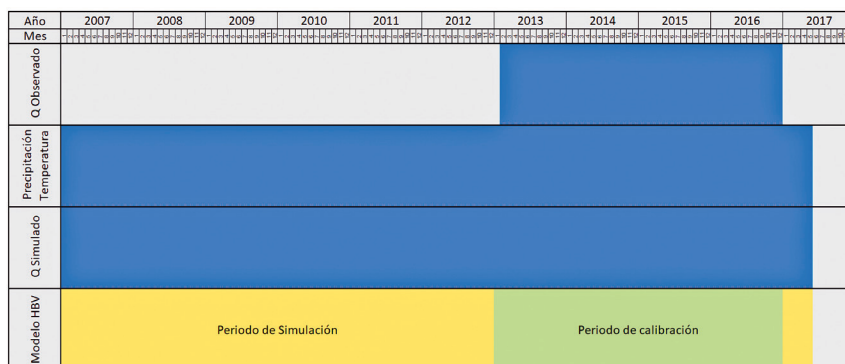


Figura 2. Procedimiento de la modelación hidrológica: periodos de simulación y datos de entrada y salida.

Resultados y discusión

La cuenca del río Birrís es alargada lo que implica que en la región existe una menor tendencia a las crecidas. La cuenca tiene una alta densidad de drenaje la cual corresponde a 2.87 km/km² y el orden de la cuenca es de 6. Esto significa la cuenca presenta una respuesta rápida a los eventos de precipitación ya que el agua que corre por escorrentía drena rápidamente por los afluentes de la cuenca.

La curva hipsométrica muestra que la cuenca se encuentra en un estado compuesto, donde aproximadamente un 50% de la cuenca (parte alta) se encuentra en un estado joven con alta producción de sedimentos y en la otra mitad de la cuenca se deposita el sedimento. La frecuencia de altitudes de la cuenca va desde los 3400 msnm en las faldas del Volcán Irazú hasta los 1300 msnm (punto de aforo) y las elevaciones más frecuentes se encuentran en el rango de 1626 a 1990 msnm (figura 3).

El cauce principal del río Birrís inicia a más de los 3000 msnm y se extiende con una pendiente promedio del 14%. Esta característica es propia de los cauces de montaña, turbulentos y con pendientes altas. Alrededor de los 1500 msnm el cauce disminuye su pendiente. Este cambio de pendiente genera una diferencia en la velocidad del flujo y la capacidad de transporte de sedimentos (figura 4).

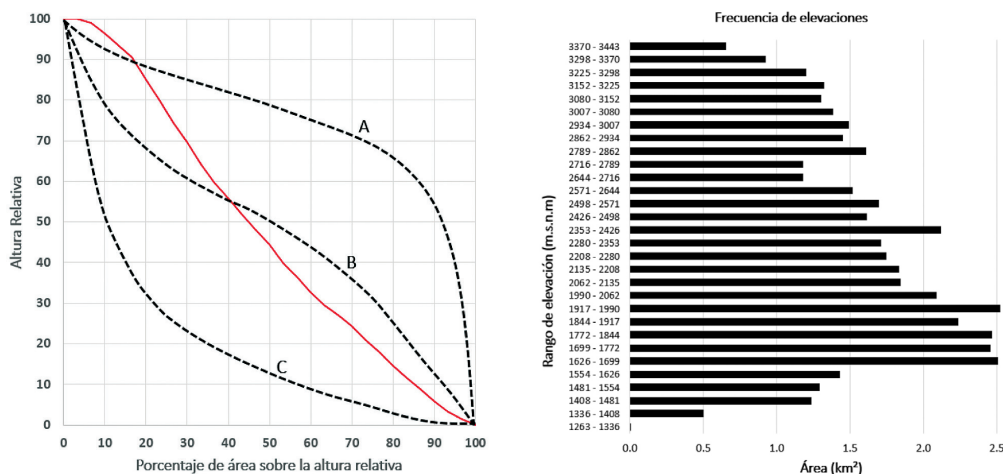


Figura 3. Hipsometría de la cuenca del río Birrís y frecuencia de altitudes. Las etiquetas corresponden a A: cuenca en estado joven; B: cuenca madura en equilibrio; C: Cuenca vieja, sedimentaria.

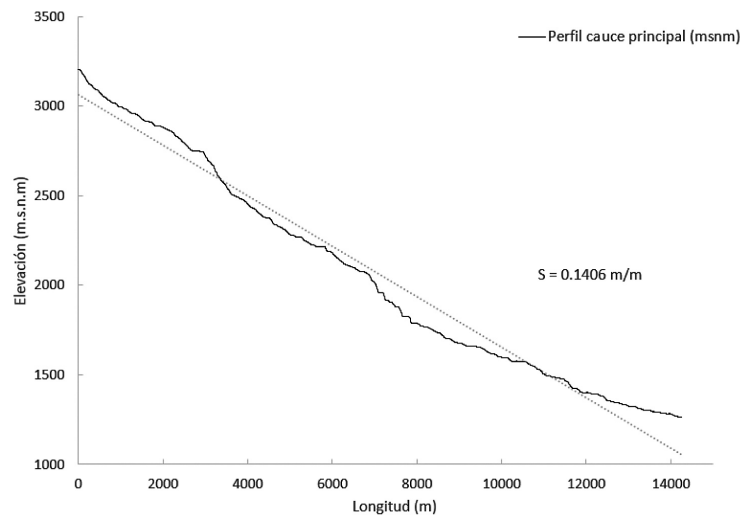


Figura 4. Perfil longitudinal del cauce del río Birris.

El cuadro 1 muestra una síntesis de las principales características del régimen fluvial y ambiental del río Birris. En él se resume un cauce alterado por las actividades que ahí se desarrollan, pero además, se encontró un alto nivel de contaminación lo que impidió encontrar especies indicadoras de caudal, contrariamente se encontraron una gran cantidad de especies indicadoras de contaminación. Desde el punto de vista del flujo, éste se ve alterado por las desviaciones de caudal se ocurren en la parte alta y media de la cuenca. Desde el punto de vista ecológico, además de las desviaciones de caudal, la gran cantidad de sedimentos y la interrupción natural de la catarata a la salida de la cuenca, evita que se den migraciones de especies hacia aguas arriba del cauce.

Cuadro 1. Síntesis del régimen fluvial y ambiental del río Birris.

Característica	Comentario
Continuidad	El cauce principal contiene dos embalses, un vertedero y una desviación de caudal hacia la generación hidroeléctrica principal
Régimen hidrológico	<p>El régimen de flujo se encuentra completamente alterado. En la parte alta del cauce existe una toma de desviación hacia el primer embalse (ubicado en la parte media de la cuenca). Flujo de acuerdo a estacionalidad: durante época seca se aprovecha la totalidad del flujo, durante época lluviosa se aprovecha una parte. Durante época seca la cantidad de caudal disponible no permite mantener el ecosistema. Durante época lluviosa la cantidad de sedimentos tampoco permite mantener los ecosistemas.</p> <p>La catarata de 75 m de altura, a la salida de la cuenca, no permite la migración natural de especies aguas arriba del cauce.</p>
Calidad del agua	Según el índice BMWP-CR la calidad del agua se encuentra entre muy contaminada a extremadamente contaminada. Esto es producto de las actividades agrícolas que se dan en la cuenca. Esto compromete el desarrollo de especies indicadoras de caudal.
Comunidades bióticas	No se encuentran ecosistemas indicadores de caudal, solo especies indicadoras de contaminación.

Después de la calibración del modelo hidrológico, los caudales simulados muestran que el año con mayor escurrimiento anual corresponde al 2008, sin embargo se observan elevados picos durante los periodos de invierno (de mayo a diciembre) de los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2015 y 2016. Los caudales menos abundantes, durante el invierno, corresponden a los años 2012, 2013 y 2014. Estas diferencias en los regímenes de caudal en el periodo de invierno resultan en un aumento en la variabilidad de los datos medios de caudal.

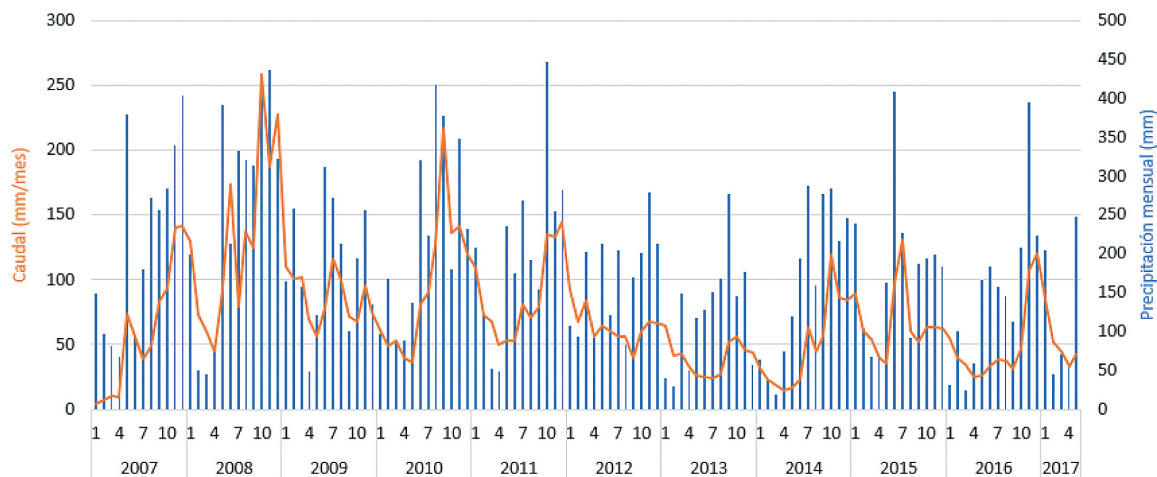


Figura 5. Caudales simulados durante el periodo 2007 al 2017.

La variabilidad natural se puede establecer entre los percentiles 25 y 75 [12]. El comportamiento estadístico de los datos muestra las menores diferencias en los meses de estiaje de enero a abril, mientras que durante los meses más lluvia, de mayo a diciembre, los coeficientes de variación se incrementan. Esto se debe probablemente a la alternancia de años secos y húmedos (figura 5). La figura 6 muestra los promedios diarios mensuales del río Birris. En esta se muestra con mayor claridad los meses de estiaje y avenidas con una gran variabilidad en los meses entre mayo y diciembre.

Debido a que el régimen anual de caudales es un indicador del comportamiento fluvial, la figura 7 muestra la curva de duración de caudales (CDC) para cada mes durante el periodo de 10 años (2007 al 2017). Se observa que para cada mes los regímenes promedio de caudal varían. En la mayoría de los meses del año (Enero, Febrero y de Julio a Diciembre) el Q50 es mayor o igual a 2 mm/día. Esto significa que el 50% del tiempo, en estos meses, el caudal específico de 2 mm/día es igualado o excedido. En marzo, abril y mayo el Q50 es menor a 2 mm/día. El Q90 y el Q95 tienen a variar de acuerdo al mes específico en el año, sin embargo, tienden a ser mayores en los meses de octubre a diciembre. Esto lo que indica es que durante estos tres meses, la excedencia del 90 % o 95% del tiempo del flujo del agua en el cauce tiende a ser mayor (mas flujo en el cauce). Con esto se muestra la variabilidad de los caudales a lo largo del año y se justifica la escogencia de valores de caudal ambiental para cada mes y no uno puntual para todo el año.

De acuerdo a la variabilidad en el régimen anual del río (estiaje y avenidas), la inexistencia de especies de calidad ambiental y basado en [12] se determinó que el rango óptimo de caudal ambiental se establece entre el Q85 y el Q95 de acuerdo a la demanda mensual de caudal, mientras exista el total del caudal concesionado en la cuenca (cuadro 2).

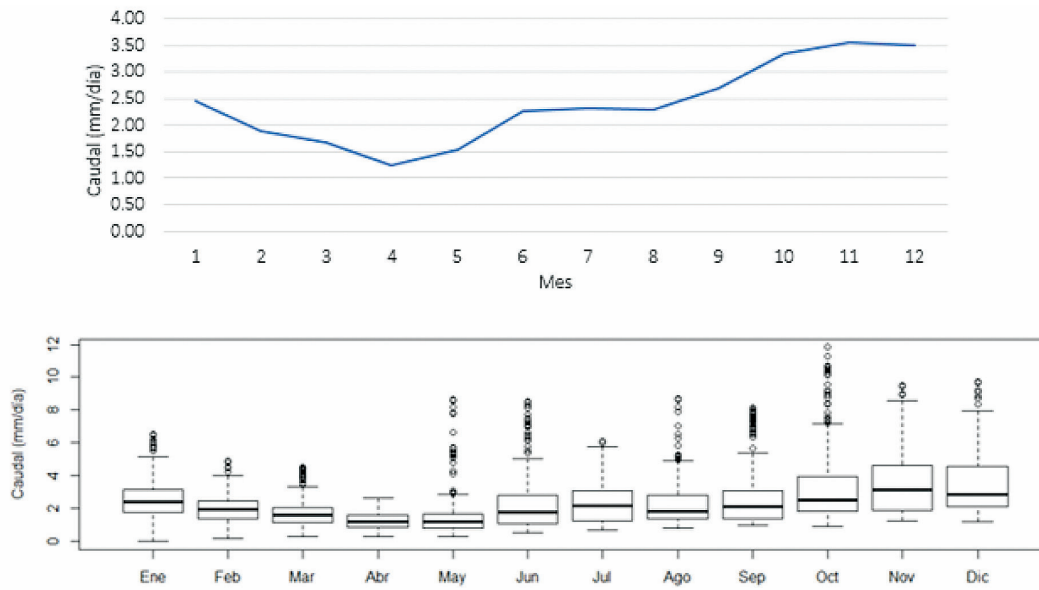


Figura 6. Estadísticos de caudales para el periodo 2007 al 2017.

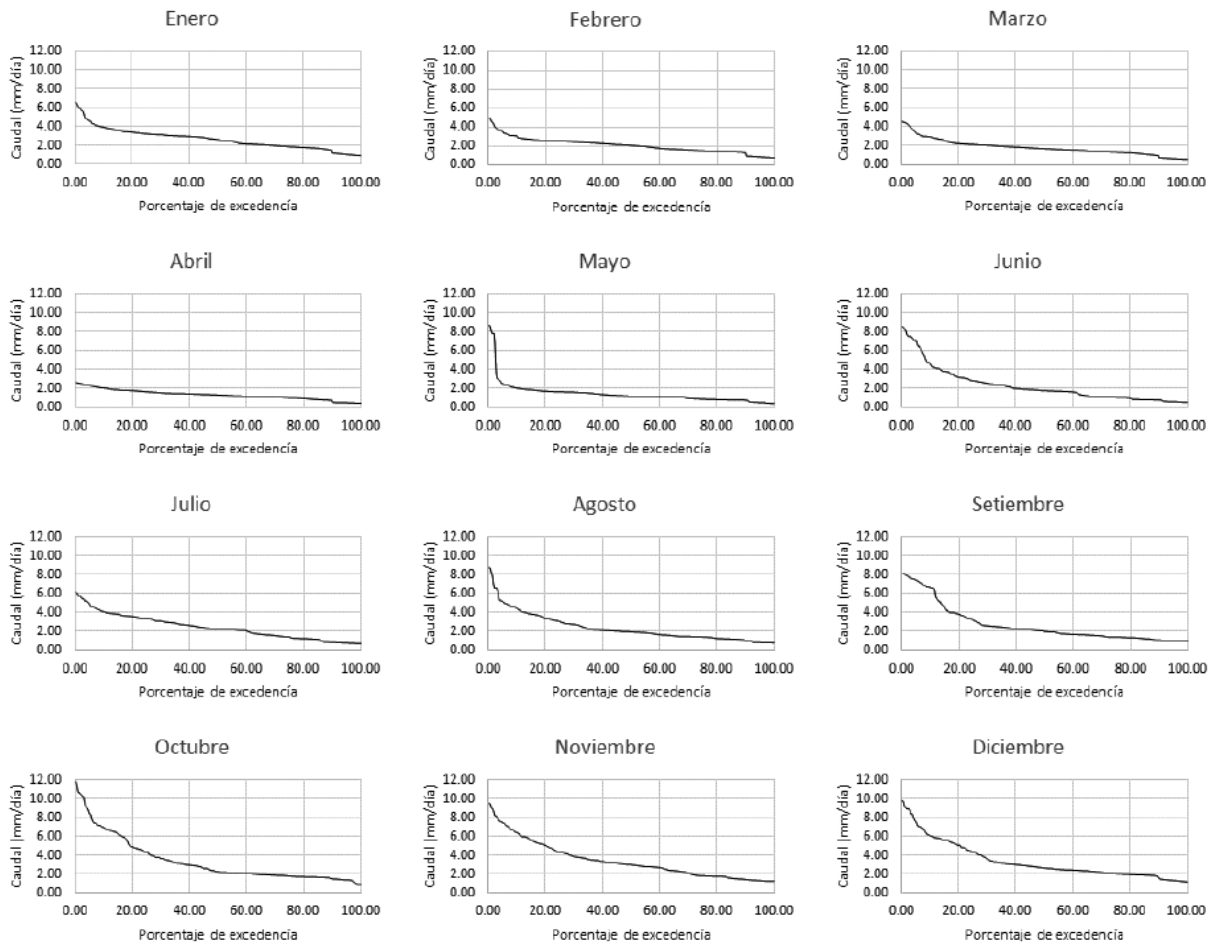


Figura 7. Curva de duración de caudales (CDC) por mes para el periodo 2007 al 2017.

Cuadro 2. Valores medios mensuales estadísticos de las excedencias de caudales que se recomiendan para caudal ambiental en la cuenca del río Birrís.

Mes	Q85	Q90	Q95
Enero	0.95	0.84	0.58
Febrero	0.75	0.70	0.45
Marzo	0.60	0.52	0.34
Abril	0.46	0.41	0.27
Mayo	0.44	0.42	0.29
Junio	0.45	0.43	0.33
Julio	0.64	0.46	0.42
Agosto	0.66	0.60	0.46
Setiembre	0.68	0.60	0.57
Octubre	0.93	0.84	0.76
Noviembre	0.87	0.80	0.73
Diciembre	1.05	0.94	0.74

Caudales en m³/s que son excedidos en 85% (Q85), 90% (Q90) y 95% (Q95) del tiempo durante el mes correspondiente.

Conclusiones

1. El estudio permitió reconocer el régimen teórico de los caudales ya que debido a que el flujo total se encuentra concesionado no fue posible establecer la condición de flujo natural.
2. La condición biológica del cauce indicó que no era posible establecer ninguna especie indicadora en el río para determinar el caudal ambiental por algún medio que incluya la biota. El grado de contaminación del río es alta para la reproducción de especies, por lo que se recomienda la intervención en la subcuenca para mejorar las condiciones de calidad de agua.
3. El grado de alteración del río no permite la aplicación de otra metodología que no sea la hidrológica.
4. El método utilizado para proponer el caudal ambiental se basó en el índice de curvas de duración (CDC) el cual establece el caudal ambiental dentro de un régimen de caudales donde se propone un rango de acuerdo a las excedencias de caudal entre Q95-Q85.

Agradecimientos

Los investigadores desean agradecer a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) por el apoyo económico para realizar este proyecto. A la Dirección de Agua del MINAE por la cooperación tanto de información, económica y de personal para llevar este proyecto a un nivel de interés nacional. A la JASEC por el aporte de los datos de caudales históricos. A la Dra. Laura Chavarría de la Escuela de Biología del TEC por el apoyo en el análisis del estudio biológico, al Ing. Pablo Chacón y Andrey Aguilar por la valiosa colaboración en la toma de datos de campo y procesamiento de la información.

Referencias

- [1] M. López Pérez, L. Mendoza Camacho, and A. A. Schroeder Aguirre, "Determinación de la Alteración del Régimen Hidrológico Natural y Objetivo Ambiental para el Cálculo del Caudal Ecológico," in *1er Congreso Iberoamericano de Sedimentos y Ecología*, 2015.
- [2] R. E. Tharme, "A Global Perspective on Environmental Flow Assessment: Emerging Trends in the Development and Application of Environmental Flow Methodologies for Rivers," *River Res. Appl.*, vol. 19, pp. 397–441, 2003.
- [3] L. Poff *et al.*, "The Natural Flow Regime : A Paradigm for River Conservation and Restoration," *Bioscience*, vol. 47, no. 11, pp. 769–784, 1997.
- [4] A. H. Arthington, S. E. Bunn, N. L. Poff, and R. J. Naiman, "The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems," *Ecol. Appl.*, vol. 16, no. 4, pp. 1311–1318, 2006.
- [5] J. E. Barrios-Ordóñez *et al.*, "Proposal for an Environmental Flows National Standard," in *31st Annual Meeting of the International Association for Impact Assessment*, 2011.
- [6] J. Calvo Alvarado, J. A. Jiménez, E. González, F. Pizarro, and A. Jiménez, "Determinación preliminar del caudal ambiental en el río Tempisque , Costa Rica : el enfoque hidrológico con limitación de datos," *Kurú*, vol. 5, no. 13, pp. 1–18, 2008.
- [7] P. Alonso-EguíaLis, "Requerimientos para Implementar el Caudal Ambiental en México," Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Alianza World Wildlife Fund/Fundación Gonzalo Río Monte, Programa Hidrológico Internacional, Mexico, 2007.
- [8] J. F. Casanova and A. Figueroa, "Determinación del caudal Ambiental y su Relación con Variables Indicadoras de Calidad del Recurso Hídrico," *Luna Azul*, no. 40, pp. 5–24, 2015.
- [9] C. Consuegra Martínez, "Síntesis Metodológica para la Obtención de Caudales Ecológicos (Qe), Resultados y Posibles Consecuencias," Tesis de Posgrado en Ingeniería Civil, Especialización en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, 2013.
- [10] E. Lianes, M. Marchamalo, and M. Roldán, "Evaluación del factor C de la Rusle para el manejo de coberturas vegetales en el control de la erosión en la cuenca del río Birris, Costa Rica," *Agron. Costarric.*, vol. 33, no. 2, pp. 217–235, 2009.
- [11] J. Seibert, "HBV Light Model," 2005. .
- [12] M. A. Gómez Balandra, M. del P. Saldaña Fabela, and S. Rodríguez Torres, "Importancia de los Componentes del Caudal Ecológico para el Aprovechamiento del Río Omitlán, Guerrero," in *1er Congreso Iberoamericano sobre Sedimentos y Ecología*, 2015, pp. 21–24.