

## ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS DEL RÍO TIRGUA EN EL SECTOR PASO VIBORAL DEL ESTADO COJEDES

(ESTIMATION OF THE ECOLOGICAL STREAMFLOW OF THE TIRGUA RIVER AT THE 'PASO VIBORAL' REACH IN THE COJEDES STATE)

Sánchez I.<sup>1</sup>, Paredes-Trejo F.<sup>2</sup> y Carballo N.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>MSc. Indalecio Sanchez Prieto, Programa de Doctorado en Ambiente y Desarrollo-  
VIPI/UNELLEZ, Teléfono: +58 414 5959057, E-mail: [indasa10@gmail.com](mailto:indasa10@gmail.com)

<sup>2</sup>Dr. Franklin Paredes-Trejo, Instituto para la Agroindustria Sustentable-VIPI/UNELLEZ,  
Teléfono: +58 412 1373163, E-mail: [franklinparedes75@gmail.com](mailto:franklinparedes75@gmail.com)

<sup>3</sup>Dra. Nahir Carballo, Grupo de Investigaciones de Desarrollo Sustentable-  
IAS/VIPI/UNELLEZ, Teléfono: +58 426 5571803, E-mail: [nahirdelc@gmail.com](mailto:nahirdelc@gmail.com)

**Recibido:** 08/11/2021      **Aceptado:** 10/01/2022

### RESUMEN

El caudal ecológico es un parámetro hidrobiológico de gran relevancia para definir estrategias políticas, técnicas y ambientales que permitan preservar los ecosistemas acuáticos en aquellos ríos que satisfacen la demanda hídrica de diferentes sectores usuarios. El río Tírgua y sus tributarios son la principal fuente de agua superficial para usos agrícola y abastecimiento humano en ocho municipios de los estados Cojedes, Yaracuy y Carabobo. A pesar de su importancia, se desconoce su caudal ecológico ( $Q_e$ ). En tal sentido, el objetivo del presente estudio fue estimar el  $Q_e$  a través de tres enfoques metodológicos basados en caudales de referencias extraídos de la curva de gastos diarios. Estos son comúnmente usados en cuencas hidrográficas que carecen de información sobre los requerimientos hídricos de las especies acuáticas sensibles a las variaciones de caudal. El método de estimación del  $Q_e$  publicado en la Resolución N° 267-2019 de la Autoridad Nacional del Agua del Ministerio de Agricultura y Riego del Perú es el que mejor se ajusta al contexto de la cuenca del río Tírgua. Según este enfoque, el mínimo  $Q_e$  en el tramo Paso Viboral no debe ser inferior a  $0,736 \text{ m}^3/\text{s}$ . Aunado a la escasa cobertura de la masa boscosa de la cuenca, los resultados mostraron que el régimen hidrológico del río Tírgua es vulnerable a los impactos del evento oceánico-atmosférico denominado El Niño.

**Palabras claves:** caudal ecológico, río Tírgua, El Niño

## ABSTRACT

The ecological flow is a highly relevant hydrobiological parameter for defining political, technical and environmental strategies that allow the preservation of aquatic ecosystems in those rivers that satisfy the water demand for different user sectors. The Tírgua River and its tributaries are the main source of surface water for agricultural use and human water supply in eight municipalities in the Cojedes, Yaracuy and Carabobo states. Tírgua river's ecological flow ( $Q_e$ ) is unknown despite its importance. In this sense, the objective of this study was to estimate  $Q_e$  through three methodological approaches based on reference flows extracted from the daily flow curve. These approaches are often used in hydrographic basins that lack information on the water requirements of aquatic species sensitive to variations in flow. The  $Q_e$  estimation method published in Resolution No. 267-2019 of the National Water Authority of the Ministry of Agriculture and Irrigation of Peru is the one that best fits the context of the Tírgua River basin. According to this approach, the minimum  $Q_e$  in the Paso Viboral reach should not be less than  $0.736 \text{ m}^3/\text{s}$ . In addition to the low coverage of the forest mass in this basin, the results showed that the hydrological regime of the Tírgua River is vulnerable to the impacts of the oceanic-atmospheric event named El Niño.

**Keywords:** *ecological flow, Tírgua river, El Niño.*

## INTRODUCCIÓN

La preservación de los recursos hídricos continentales en un tema de interés creciente a escala global (Dong, Schoups y van de Giesen, 2013); y en especial, para Venezuela. La evidencia observacional en las cuencas hidrográficas, sugiere que la degradación del suelo y la exacerbación de los impactos desencadenados por los extremos climáticos (i.e. sequías severas) modifican el régimen hidrológico de los ríos en el territorio venezolano (Paredes-Trejo, Barbosa-Alves, Moreno-Pizani y Farías-Ramírez, 2018). Lo anterior

origina por un lado, conflictos entre los diferentes usuarios del recurso agua; y por otro lado, impactos negativos en los ecosistemas fluviales. Estos últimos, son sensibles a las variaciones estacionales. En particular, cuando el caudal ecológico decrece significativamente durante la temporada de aguas baja (Rodríguez-Olarte, Marrero y Taphorn, 2018).

A juzgar por los escenarios futuros publicados para la región norte de Sudamérica y el Caribe por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático en su último informe (IPCC, 2021), es de esperar que los conflictos sociales en

cuanto al acceso al agua y a los recursos hidrobiológicos se agraven en el corto plazo, debido a los cambios previstos en las pautas pluviométricas sobre el territorio venezolano. En este contexto, emerge una apremiante necesidad de valorar y resguardar los recursos hídricos fluviales a fin de evitar su sobreexplotación por parte de los principales sectores usuarios como la agricultura, la industria, y las municipalidades. Lo anterior alienta el desarrollo de estudios que coadyuven a profundizar nuestro conocimiento sobre la dinámica del caudal ecológico en aquellos ríos que históricamente han satisfecho las necesidades de agua para consumo humano (acueductos) y actividades agrícolas (irrigación). Para ilustrar mejor, uno de estos, es el río Tírgua, dada su importancia como unidad hidrológica en términos ecológicos.

#### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

El caudal de un río cualquiera en un lugar y tiempo determinado, es modulado por la aportación de la precipitación, el flujo superficial, sub-superficial y subterráneo, y el volumen de extracción de agua para satisfacer ciertos usos (ej.,

agricultura, industrial y abastecimiento humano). En ausencia de eventos de precipitación, el caudal decrece a una velocidad variable que depende en gran medida del tamaño del área drenada, las características de la vegetación y su grado de cobertura, el relieve dominante, la capacidad de infiltración del suelo y subsuelo, y el volumen de agua extraído, trasvasado o almacenado aguas arriba del tramo evaluado (López-Calatayud, Márquez-Romance y Guevara-Pérez, 2021). Durante este proceso, los ecosistemas fluviales requieren un caudal mínimo para preservar su integridad ecológica (Rodríguez-Olarte et al., *ob. cit.*), denominado caudal ecológico ( $Q_e$ ).

Los enfoques para estimar el  $Q_e$  son: i) hidrológicos, relacionan la calidad del hábitat con el caudal; ii) hidráulicos, basados en los puntos de inflexión observables al representar el perímetro mojado en una sección transversal de control versus la cantidad y diversidad de los hábitats para una especie de referencia; iii) modelización del hábitat, acoplan modelos biológicos e hidráulicos para estimar la capacidad de hospedaje del río de una especie indicadora sensible

a los cambios de caudal; y iv) holísticos, en los cuales el hidrograma del río se segmenta en bloques temporales según los requerimientos de caudal para diferentes funciones ecológicas definidas por un grupo multidisciplinario de expertos (Aguilera y Pouilly, 2012). Dicho lo anterior, el enfoque (i) domina la literatura académica sobre este tópico en Venezuela (Pérez, 2007).

Cabe destacar que no existe una norma legal venezolana para estimar el  $Q_e$ . Sin embargo, en el marco de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) adoptados por Venezuela en 2015, la estimación del  $Q_e$  ha tomado relevancia nacional, pues es un insumo para el reporte del ODS 6.4.2 (nivel de estrés hídrico).

En particular, la evaluación del  $Q_e$  en el río Tírgua es un tema que no ha sido formalmente estudiado. Una primera aproximación fue hecha por Paredes, Rumbo, Guevara y Carballo (2006), quienes estimaron un  $Q_e$  de  $1,76 \text{ m}^3/\text{s}$  en el sector Paso Viboral, argumentando que satisface la demanda hídrica conjunta de la Planta Potabilizadora Elías Nazar Arroyo y el sistema de riego San Carlos.

No obstante, sobre la base de los enfoques mencionados para estimar el  $Q_e$ , este valor carece de fiabilidad, pues no toma en cuenta las exigencias de caudal de los ecosistemas fluviales.

Una limitante para estimar el  $Q_e$  del río Tírgua con los enfoques (i) al (iv), es el desconocimiento del requerimiento de caudal durante los estadios de reproducción, crecimiento y estiaje para ciertos bio-indicadores invertebrados, macroinvertebrados bentónicos, peces o anfibios (Jiménez, 2016). En estos casos, suele adoptarse el método de Tennant (1976), quien definió el  $Q_e$  como un porcentaje del caudal medio ( $Q_m$ ) mensual, como sigue:  $Q_{e10} = 0,10 Q_m$ ;  $Q_{e30} = 0,30 Q_m$ ; y  $Q_{e60} = 0,60 Q_m$ . Según este autor,  $Q_{e10}$  asegura la sobrevivencia de la mayoría de las formas de vida acuática;  $Q_{e30}$  mantiene el hábitat fluvial y ribereño en una condición adecuada; y  $Q_{e60}$  provee condiciones óptimas para la ictiofauna en general.

En este orden de ideas, Silveira y Silveira (2001) plantean un  $Q_e$  equivalente al 5% del  $Q_{90}$  de la curva de permanencia de caudales. Siendo  $Q_{90}$ , el caudal diario igualado o excedido 90% de

las veces en el periodo de registros. Conjuntamente, un referente relevante ante la ausencia de una línea de base sobre necesidades hídricas de los ecosistemas fluviales, es la Resolución N° 267-2019 sobre los lineamientos generales para determinar caudales ecológicos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) del Ministerio de Agricultura y Riego del Perú (ANA, 2020), donde se establece el 15% del Qm mensual como Qe.

### **MATERIALES Y METODOS**

Área de estudio (AE): porción de la cuenca del río Tírgua situada aguas arriba del sector Paso Viboral (A: 1.431 km<sup>2</sup>); seleccionado por disponer más de 30 años de registros hidrométricos. Abarca el rango 68,21-68,69° Oeste; y 9,71-10,27° Norte. Un 22,54% corresponde al estado Cojedes, 30,74% a Carabobo y 46,73% a Yaracuy. El relieve va desde 171 hasta 1.792 msnm, siendo 763 msnm y 16,40% los promedios de elevación y pendiente. Los suelos superficiales de la clase CILo (sistema USDA) son dominantes (92%). El cauce principal recorre 108 km desde la Serranía del Interior (donde se denomina, río Aguirre) hasta Paso

Viboral con una pendiente media de 2%. El acuífero de mayor relevancia hidrogeológica es el Nirgua-Salom en el valle homónimo de Yaracuy (Grisolía y Rojas, 2005).

La Zona Protectora de la Cuenca Alta del río Cojedes (Decreto N° 2.647 del 12/05/1978) y el Parque Nacional Tírgua – General Manuel Manrique (Decreto N° 2.346 del 05/06/1992) ocupan más del 75% del AE. Los arbustales y matorrales son las formaciones vegetales más extensas (Mejía, Vega, Seiad y Mora, 2021). La precipitación anual media es 1.296 mm. La temporada seca ocurre de enero a marzo, y la lluviosa desde junio hasta agosto. La temperatura media anual es 23,72 °C, con máximos y mínimos en mayo (24,46 °C) y enero (22,60 °C), respectivamente. Una población de 109.035 habitantes se estima para 2020 (basado en <https://bit.ly/3vjET05>).

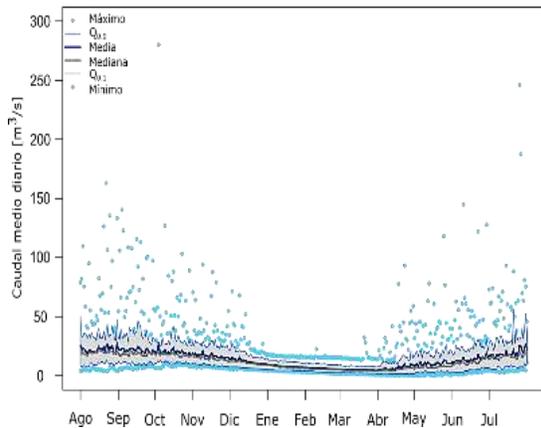
Información hidrométrica: una serie temporal de caudal del río Tírgua en la estación Paso Viboral [-68,605964° W; 9,719648° N] para el periodo 01/01/1963 – 31/12/1996 provista por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrológica (INAMEH) fue usada (2,94% de registros

faltantes). El INAMEH no cuenta con registros recientes para el río Tírgua.

**Métodos:** el  $Q_e$  se estimó usando los métodos de: i) Tennant (*ob. cit.*); ii) Silveira y Silveira (*ob. cit.*); y iii) la Resolución N° 267-2019 de la ANA del Perú (ANA, *ob. cit.*).

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los caudales mínimo, promedio y máximo del río Tírgua durante el periodo analizado son 0,44, 13,45 y 280 m<sup>3</sup>/s, respectivamente (Figura 1). El módulo relativo promedio es 9,39 litros/s.km<sup>2</sup>. La Tabla 1 resume los  $Q_m$  junto a los  $Q_{e10}$ ,  $Q_{e30}$  y  $Q_{e60}$  estimados según el método de Tennant (*ob. cit.*), el 5% del  $Q_{90}$  ( $Q_{90}$ : 25,413 m<sup>3</sup>/s) planteado por Silveira y Silveira (*ob. cit.*), y el 15% del  $Q_m$  reglamentado por la ANA del Perú.



**Figura 1.** Régimen hidrológico del río Tírgua en Paso Viboral para el periodo

01/01/1963 – 31/12/1996 mostrando los valores mínimos, máximos, media, mediana y los percentiles  $Q_{10}$  y  $Q_{90}$ .

**Tabla 1.** Caudales ecológicos del río Tírgua en m<sup>3</sup>/s estimados en el sector Paso Viboral para el periodo 01/01/1963 – 31/12/1996 de acuerdo a Tennant (*ob. cit.*), Silveira y Silveira (*ob. cit.*) y la Resolución N° 267-2019 de la ANA (*ob. cit.*).

Mes	$Q_m$	$Q_{e10}$	$Q_{e30}$	$Q_{e60}$	0,05 $Q_{90}$	$Q_{eANA}$
Enero	7,878	0,788	2,364	4,727	1,271	1,182
Febrero	6,079	0,608	1,824	3,647	1,271	0,912
Marzo	4,904	0,490	1,471	2,942	1,271	0,736
Abril	6,686	0,669	2,006	4,011	1,271	1,003
Mayo	10,191	1,019	3,057	6,115	1,271	1,529
Junio	13,960	1,396	4,188	8,376	1,271	2,094
Julio	18,951	1,895	5,685	11,371	1,271	2,843
Agosto	22,160	2,216	6,648	13,296	1,271	3,324
Septiem.	21,572	2,157	6,472	12,943	1,271	3,236
Octubre	20,019	2,002	6,006	12,011	1,271	3,003
Noviem.	16,741	1,674	5,022	10,044	1,271	2,511
Diciem.	11,975	1,198	3,593	7,185	1,271	1,796

Al comparar las estimaciones resumidas en la Tabla 1 con el caudal requerido para satisfacer el uso agrícola y de consumo humano reportado por Paredes et al. (2006) a la altura del dique toma ( $Q$ : 1,76 m<sup>3</sup>/s), se observa que supera el  $Q_{e10}$  desde noviembre hasta junio, el  $Q_{e30}$  en marzo, pero permanece por debajo del  $Q_{e60}$ .

Bajo el enfoque de Silveira y Silveira (*ob. cit.*), la extracción en el dique podría afectar los ecosistemas acuáticos durante los meses de estiaje. Por otro lado, el criterio técnico establecido en la Resolución N° 267-2019 revela que entre enero y mayo tal nivel de extracción no debiese permitirse, pues supera los límites tolerables por la ANA.

La regulación más estricta en el periodo de aguas baja corresponde al  $Q_{e10}$ . En especial, durante marzo ( $Q_{e10}$ : 0,490 m<sup>3</sup>/s). Anecdóticamente, se identificó un evento donde el caudal del río registró valores por debajo de 0,490 m<sup>3</sup>/s entre 28/04/1988 y 04/05/1988 (duración: 7 días). Un fuerte episodio El Niño, caracterizado por pulsos secos sucesivos fue concurrente (Rojas, Li y Cumani, 2015), revelando el impacto de este fenómeno oceánico-atmosférico sobre el régimen hidrológico del río Tirgua, y por consiguiente, sus ecosistemas acuáticos.

### **Discusión**

Aguas arriba del sector Paso Viboral, el río Tirgua y sus principales tributarios son la principal fuente de abastecimiento hídrico superficial para usos humano y

agrícola en los municipios Nirgua, Ezequiel Zamora, Miranda, Montalbán, Bejuma y Tinaquillo. Ha sido suficientemente documentado el hecho de que la cuenca del río Tirgua presenta bosques muy fragmentados en su porción media, siendo dominantes en el área de estudio los arbustales, matorrales y herbazales, quienes coexisten con usos agrícola y pecuario (Mejía et al., *ob. cit.*). La conjunción de estas características sugieren por un lado, una creciente demanda hídrica para satisfacer los usos humano y agrícola en la medida que la población aumente y las tierras agrícolas y pecuarias se expandan, y por otro lado, que la escasa cobertura boscosa favorecerá muy poco la preservación del caudal ecológico durante los meses secos.

Otro aspecto que emerge de los resultados, es la vulnerabilidad del régimen hidrológico al evento El Niño. Esto último, es preocupante a la luz de las proyecciones publicadas en el último reporte del IPCC (*ob. cit.*), donde la evidencia científica sigue acumulando pruebas sobre episodios El Niño que tenderán a ser más frecuente en los próximos años.

A propósito del reporte del ODS 6.4.2 en el marco de la Agenda 2030 y circunscrito al ámbito espacial de la cuenca del río Tírgua, así como a las particularidades expresadas en el párrafo previo, la estimaciones del Qe según la Resolución N° 267-2019 de la ANA parecen ser la alternativa más racional y ecuánime con miras a preservar los ecosistemas acuáticos del río Tírgua. Sin embargo, estas estimaciones deben actualizarse en la medida que los requerimientos hídricos de las especies bioindicadoras más relevantes del río se vayan determinando.

Es previsible la ocurrencia de futuros conflictos entre los diferentes usuarios del recurso agua. En este sentido, los tomadores de decisiones deben ir pensando en el desarrollo de estrategias, ambientales, comunicacionales y educativas lo suficientemente novedosas que permitan incrementar la sensibilización y la concientización ambiental en torno al uso racional de los recursos hídricos en la cuenca del río Tírgua.

## **CONCLUSIONES**

La evidencia observacional en términos de registros de caudal sugiere que el fenómeno El Niño es una amenaza natural capaz de modificar el régimen hidrológico del río Tírgua, y a su vez, desencadenar complejos impactos sobre sus ecosistemas acuáticos como consecuencia de la significativa disminución del caudal. Los análisis realizados en este estudio revelaron que el enfoque más adecuado para estimar el caudal ecológico del río Tírgua es el contemplado en la Resolución N° 267-2019 de la ANA (Perú).

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen al equipo técnico y gerencial del INAMEH por proporcionar los registros hidrométricos del río Tírgua en la estación Paso Viboral; la serie post-procesada está disponible en: <https://zenodo.org/record/5572593>.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Aguilera, G., & Pouilly, M. (2012). Caudal ecológico: definiciones, metodologías y adaptación a la región andina. *Acta zoológica lilloana*, Volumen 56. Pág. 15-30.
- Autoridad Nacional del Agua del Ministerio de Agricultura y Riego del Perú (2020). *Lineamientos generales*

- para determinar caudales ecológicos. Resolución N° 267-2019-ANA. Recuperado de: <https://bit.ly/3DzMI4G>.
- Dong C., Schoups G. & van de Giesen N. (2013). Scenario development for water resource planning and management: a review. Technological Forecasting And Social Change, 80. Pág. 749-761.
- Grisolía, J., & Rojas, M. (2005). Evaluación de la Disponibilidad de Aguas Subterráneas en el área de Nirgua-Salom, estado Yaracuy. Universidad de Los Andes. 139 p. Recuperado de: <https://bit.ly/3BFswxI> [Consultado en Octubre 2021]
- Jiménez, A. (2016). Evaluación de la calidad ecológica del río Tirgua (Edo. Cojedes, Venezuela) mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos. Universidad de Carabobo. 61 p. Recuperado de: <https://bit.ly/3AykdIE> [Consulta en Octubre 2021]
- López-Calatayud, N., Márquez-Romance, A., & Guevara-Pérez, E. (2021). Spatio-temporal prediction of water balance in the Urama river basin, Venezuela. Dyna, Volumen 88. Pág. 58-67.
- Mejía, J., Vega, F., Seiad, E., & Mora, E. (2021). Hidrogeografía de una cuenca de usos múltiples ubicada en la cordillera de la Costa, Venezuela. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, Volumen 30. Pág. 217-238.
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). (2021) The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Internet]. Cambridge University Press. 2021. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> [Consultado en Octubre 2021]
- Paredes-Trejo F., Barbosa-Alves H., Moreno-Pizani, M. y Fariás-Ramírez, A. (2018) Las sequías meteorológicas y su influencia sobre el régimen hídrico de los ríos en Venezuela. Capítulo 9 (pp: 171-184). En: Rodríguez-Olarte, D. (Editor). Ríos en riesgo de Venezuela. Volumen 2. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Pérez, E. (2007). Modelación de los caudales ecológicos en ríos de Venezuela. Revista Ingeniería UC, Volumen 14. Pág. 25-34.
- Rodríguez-Olarte, D., Marrero, C. y Taphorn, D. (2018) Ríos en riesgo al Mar Caribe y al Golfo de Venezuela. Capítulo 4 (pp: 71-102). En: Rodríguez-Olarte, D. (Editor). Ríos en riesgo de Venezuela. Volumen 2. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Rojas, O., Li, Y., & Cumani, R. (2015). Entendiendo el impacto de sequía provocada por El Niño en el área agrícola mundial: Una evaluación utilizando el Índice de Estrés Agrícola de la FAO (ASI). FAO, Roma (Italia). Recuperado de: <https://bit.ly/3lOtget>. [Consultado en Noviembre de 2021]
- Silveira, L. y Silveira, L. (2001). Caudales mínimos. Gestión de

pequeñas cuencas hidrográficas. En:  
Hidrología Aplicada. Editorial ABRH,  
Porto Alegre, Brasil.

Tennant, D. (1976). Instream flow  
regimens for fish, wildlife, recreation  
and related environmental resources.  
Fisheries, Volumen 1. Pág. 6-10.