ISSN 1992-6510
e-ISSN 2520-9299

54

Reality and Reflection

Año 21, n.° 54, San Salvador, El Salvador, Centroamérica. Revista Semestral. Julio-Diciembre 2021

Year 21, n.° 54, San Salvador, El Salvador, Central America. Semestral Journal July-December 2021

Idoneidad del hábitat de Amatitlania nigrofasciata y caudales ecológicos del río Cara Sucia, El Salvador[1]

Habitat suitability model for Amatitlania nigrofasciata and ecological flows in Cara Sucia river, El Salvador

José Alberto González Leiva
Licenciado en Biología por la Universidad de El Salvador
Máster en Biología por la Universidad de Costa Rica (UCR)
Instituto para el Crecimiento Sostenible de la Empresa (ICSEM)
alberto@icsem.es

Johanna Vanessa Segovia de González
Licenciada en Biología por la Universidad de El Salvador
Máster en Biología con énfasis en Ecología por la Universidad de Costa Rica
Investigadora asociada del Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICTI), de la Universidad Francisco Gavidia (UFG)
e.vsegovia@ufg.edu.sv
https://orcid.org/0000-0001-8548-3790

Guillermo Arturo Cornejo Hernández
Ingeniero Civil por la Universidad de El Salvador
Cand. Magíster en Hidrología por la Universidad de Costa Rica (UCR)
Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
planificadorhidrico@marn.gob.sv

1 Agradecimientos: al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN), por el apoyo en el desarrollo del presente estudio de casos.

José Carlos Revelo Vidaurre
Ingeniero Civil, especialista hidráulico por la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA)
Consultor independiente
jcrvidaurre@gmail.com

Jacqueline Maythé Morán Villatoro
Licenciada en Biología por la Universidad de El Salvador
Máster en Ciencias Marinas por el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN)
Energía del Pacífico (EDP)
jacm.villatoro@gmail.com

Fecha de recepción: 24 de abril de 2020
Fecha de aceptación: 7 de julio de 2020
DOI:

RESUMEN

El cálculo de caudales ecológicos de ríos en El Salvador, se basa en metodologías hidráulicas orientadas al uso del agua, sin tomar integridad y función ecológica. Se presenta el estudio de caso del río Cara Sucia, donde se determinó el caudal ecológico por metodologías eco-hidráulicas utilizando a *Amatitlania nigrofasciata* como bioindicador. Se estimó la curva de idoneidad de hábitat de A. nigrofasciata con profundidad, velocidad del agua y tipo de sustrato. La especie prefiere hábitats con profundidades de 0.2-0.7 m (juveniles y adultos) y hasta 0.8 m época lluviosa; sobre sustratos rocosos, hojarascas y vegetación sumergida, con velocidades de 0.3-0.6 m/s en ambas épocas. La simulación del ambiente físico mostró caudales de 1.0 m^3/s con condiciones habitables para la especie y hábitat potencial con caudales de 2.2 m^3/s (juveniles) y 5.0 m^3/s (adultos). Condiciones de estrés hídrico por cambio climático y actividades antropogénicas afectarán este ecosistema, eliminando funciones ecológicas y económicas locales.

Palabras clave: *Amatitlania nigrofasciata*, caudal ecológico, índice de idoneidad de hábitat, simulación de hábitat físico, SEFA.

ABSTRACT

The calculation of ecological flows of rivers in El Salvador, is based on hydraulic methodologies oriented the use of water, without taking integrity and ecological function. The case study of the Cara Sucia River is presented, where the ecological flow was determined by eco-hydraulic methodologies using Amatitlania nigrofasciata as bioindicator. The habitat suitability curve of A. nigrofasciata is estimated with depth, water velocity and type of substrate. The species prefers habitats with depths of 0.2-0.7 m (juveniles and adults) and up to 0.8 m in the rainy season; on rocky substrates, litter and submerged vegetation, with speeds of 0.3-0.6 m/s in both seasons. The simulation of the physical environment showed flow rates of 1.0 m^3/s with habitable conditions for the species and potential habitat with flows of 2.2 m^3/s (juveniles) and 5.0 m^3/s (adults). Conditions of water stress due to climate change and anthropogenic activities will affect this ecosystem, eliminating local ecological and economic functions.

Keywords: *Amatitlania nigrofasciata, ecological flow, suitability index, simulation of physical habitat, SEFA.*

Introducción

El estudio de caudales ecológicos que utiliza métodos eco-hidráulicos, son herramientas de gestión que aportan información valiosa para mantener la calidad, cantidad y régimen de flujo del agua requerido para la integridad y función ecológica de los ríos (Baeza y Del Jalón, 1997; Agualimpia y Castro, 2006; World Wildlife Fund –WWF-, 2010; Rodríguez-Gallego *et al.*, 2012). Este uso se ha venido expandiendo en los últimos años, debido a que integra información hidrológica y biológica, y define valores reales de uso del agua basados en la biodiversidad acuática. Para ello se utilizan diferentes grupos taxonómicos como los macroinvertebrados acuáticos, mamíferos y reptiles acuáticos y peces; estos últimos son los más utilizados a nivel mundial, ante la inminente degradación de los ecosistemas hidrológicos a escala global, regional y local. Esto, en gran medida, por la pérdida de la calidad del agua y la alta tasa de demanda para las actividades humanas (Jackson *et al.*, 2001).

El Salvador cuenta con un aproximado de 360 ríos distribuidos en 10 regiones hidro geográficas (Dimas, 2005; Ministerio de Agricultura y Ganadería –MAG-, 2012), estos ecosistemas presentan enormes problemas asociados a los efectos derivados del cambio climático como la sequía, además de la contaminación provocada por el mal manejo de las aguas residuales, así como por el uso desmedido de agua para la agricultura e industrias (Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura –FAO- y MAG, 2017; Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales –MARN- y Servicio Nacional de Estudios Territoriales –SNET-, 2002). Según Mateo-Sagasta (2017), más del 90 % de los ríos del país presentan algún grado de contaminación, de los cuales 68 % de ellos presentan agua con propiedades fisicoquímicas de calidad regular a mala, y el 32 % mantienen aguas de buena calidad (MARN, 2017a). Esta situación se suma a los problemas de estrés hídrico del país, ya que la tasa *per cápita* para el año 2002 fue de 2,774 m^3/hab/año (Dimas, 2005). Dicho valor es muy cercano al estrés hídrico registrado para la región centroamericana de 1,700 m^3/hab/año (Falkenmark *et al.*, 1989); dado lo anterior, el cálculo de los caudales ecológicos contribuiría en la gestión de los ríos del país.

El cálculo de caudales ecológicos en El Salvador, se remonta a mediados del siglo pasado y se basa en análisis hidrológicos e hidráulicos, a través de métodos como: Tennant, Tessman, Caudal Medio Mensual (QMM), y en algunos casos a través del Northern Great Plains Resource Program (NGPRP); este último tiene muy poca aplicación en el país, por ser altamente restrictivo al permitir poco uso de agua (MARN, 2017b). Estos métodos tienen la desventaja de ocupar serie de datos de largo tiempo, además que se basan en proyecciones de tendencias de regímenes hídricos y no consideran la integridad, función ecológica y las características hidrobiológicas de cada río.

La aplicación de metodologías eco-hidráulicas u holísticas para determinar el caudal ecológico resulta más integral al momento de la gestión de los recursos hidrológicos, ya que estos métodos buscan mantener la cantidad, calidad y régimen de caudales necesarios para sostener a los ecosistemas acuáticos (Empresa Nacional de Electricidad S.A. –ENDESA-, 2011). Desde esta perspectiva, el

manejo, uso y restauración de los ríos significa mantener el régimen natural de estos, tomando en cuenta la variabilidad espacial y temporal, además de la restauración de sus funciones y procesos ecológicos (Poff *et al.*, 2010; Rodrigues da Costa *et al.*, 2015).

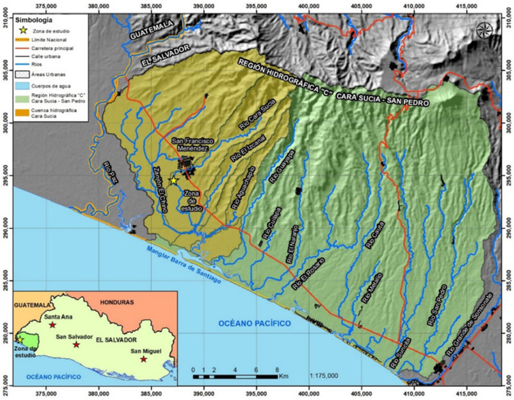
La gestión integral de los recursos hidrológicos de El Salvador, es una herramienta que requiere de una visión holística (MARN, 2017a), en donde las medidas de uso y conservación de los ríos se basen en conocimiento científico, que permita conocer la integridad y función ecológica de estos cuerpos de agua. Es por ello que el presente trabajo brinda información valiosa para determinar el caudal ecológico de los ríos del país, por medio de la aplicación de métodos eco-hidráulicos y a través del cálculo de curvas de idoneidad, y la simulación de hábitats para especies ícticas, como grupo taxonómico indicador de caudales (Centro de Ecología Aplicada LTDA. –CEA–, 2008); esto representa una metodología innovadora para el país.

El trabajo presenta el estudio de caso del río Cara Sucia, uno de los ecosistemas limnológicos más importante de la zona occidental de El Salvador y que forma parte de la Región Hidrográfica Cara Sucia (MAG, 2012); el cual fue realizado en marco al proyecto "Definición de indicadores biológicos para la determinación de caudales ecológicos en tramos de ríos de las cuencas hidrográficas Tamulasco, Sapo, Cara Sucia, Grande de Sonsonate y Grande de San Miguel" ejecutado por el MARN. El río Cara Sucia por años ha sido utilizado por los actores locales para diferentes actividades, como la agricultura y ganadería, pesca de consumo y esparcimiento; esto ha provocado disminución del caudal, así como la contaminación fisicoquímica y orgánica del agua (Domínguez, 2007; Quiñónez, 2016). Ante esta situación, el estudio de caudales ecológicos se realizó dentro del marco del Plan Nacional de Gestión Integral de los Recursos Hidrológicos de El Salvador (MARN, 2017a), por medio de la implementación del método de Simulación de Hábitat Físico (Pont *et al.*, 2006; Waddle, 2001), y a través del empleo del software PHABSIM (aplicado a especies de peces), como una forma de contar con herramientas que ayuden al manejo, uso y gestión de este importante ecosistema limnológico.

Método

Ubicación del área de estudio. El río Cara Sucia pertenece a la subcuenca Cara Sucia del municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán (mapa 1). El río se caracteriza por la presencia de zonas de rápidos, pozas y remansos, y vegetación acuática (Merlos, 2017). Las aguas del río son redirigidas para los usos de riego de pastos y cultivo en la parte alta de la cuenca.

Selección de tramo. El estudio se realizó de forma mensual durante cinco meses (febrero a junio de 2017) en un tramo del río Cara Sucia entre las coordenadas 13°47´36.00" LN/90°00´43.47" LW y 13°48´28.49" LN/89°59´15.30" LW. Para la selección de dicho tramo se realizó un análisis *a priori* a través de sesiones de discusión y análisis de mapas y grillas de elevación topográfica, para la búsqueda de sitios que cumplieran con los siguientes criterios: tener (por lo menos) 100 m de longitud, poco



Mapa 1. Ubicación geográfica del río Cara Sucia y sus tributarios, de la cuenca hidrográfica Cara Sucia, municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán, El Salvador.
Fuente: elaboración propia.

perturbados, cercanía a estaciones hidrométricas, fácil acceso y una geomorfología que permitiera realizar aforos hidrológicos y muestreo de peces. En esta parte del estudio se realizó un levantamiento topográfico, donde se identificaron y marcaron las secciones transversales para la conformación de la malla imaginaria, donde se establecieron las celdas que posteriormente fueron utilizadas para la medición de los aforos hidrológicos, profundidad, tipo de sustrato y muestreo ictiológico.

Selección de especies. La especie íctica indicadora del caudal ecológico se seleccionó por medio de un levantamiento de la biodiversidad acuática; para ello se efectuaron una serie de giras periódicas al sitio de estudio, con el fin de realizar el muestreo de peces con ayuda de atarrayas que usan los pescadores locales, además del uso de equipo de electro pesca marca Susan-1020NP y censos visuales. Los muestreos se realizaron en los microhábitats que potencialmente ocupan las especies de peces como zonas de pozas, remansos, zonas de rápidos, zonas con sustratos rocosos, vegetación sumergida, troncos y ramas entre otros hábitats posibles (Rodrigues da Costa *et al.*, 2015).

Los criterios para la selección de especie indicadora fueron: ser abundante, nativa, requerir mayor cantidad de agua para su ciclo de vida, contar con conocimiento de su biología y ecología básicas y tener importancia pesquera o de consumo local. Con base a la información obtenida en campo, la especie que se seleccionó para el monitoreo del caudal ecológico del río fue la burrita *A. nigrofasciata*, siendo una especie común en los ríos de El Salvador (McMahan *et al.*, 2014, McMahan *et al.*, 2013). Esta especie fue monitoreada durante cinco meses, de febrero a junio de 2017. Los datos de abundancia, frecuencia, talla y comportamiento de la especie obtenidos a través de técnicas de censos visuales y electro pesca, fueron usados para determinar los caudales ecológicos en un tramo de 100 m con cuatro secciones separadas cada 25 m con dirección corriente arriba.

Registro de datos hidrológicos y de sustrato. Los datos hidrológicos se obtuvieron de las secciones transversales del río se establecieron celdas de un metro de ancho (previamente levantadas con el estudio topográfico), en donde se registraron los datos hidrológicos mensuales de velocidad del agua (m/s) por

medio del método del flotador ajustado y la profundidad (m) con una vara graduada; estos registros se realizaron de acuerdo con el ancho de cada sección durante los meses de muestreo. El sustrato que ocupa la especie se categorizó tomando en cuenta el criterio de Bovee *et al.* (1998), adaptado bajo la siguiente clasificación: roca o cueva (1), hojarasca (2), ramas sumergidas (3), vegetación sumergida (4), arena (5) y arcilla (6); esto para identificar el uso del hábitat ocupado por la especie, el cual se midió por medio de observación y clasificación en un área de 1 m^2.

Análisis de datos. A partir de los datos de la abundancia de la especie, velocidad de la corriente (m/s), profundidad de la columna de agua (m) y tipo de refugio (sustrato), obtenidos en los estudios antes mencionados, se calcularon los índices de: disponibilidad de hábitat (ecuación 1), uso de hábitat (ecuación 2) y preferencia de hábitat (ecuación 3), de acuerdo con las fórmulas propuestas por Rodrigues da Costa e*t al.* (2015).

$$Idj = \frac{F_j}{\Sigma F_j} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

Idj: Índice de disponibilidad
Fj: Frecuencias ponderadas por sección
|ΣFj: Suma de las frecuencias ponderadas de todas las secciones

$$Iuj = \frac{N° \ individuos \ por \ clase}{N° \ total \ de \ individuos} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

Iuj: Índice de Uso
No: Número

$$Cj = \frac{I_{uj}}{I_{dj}} \quad \text{(Ecuación3)}$$

Donde:

Cj: Curva de preferencia (o idoneidad)
Iuj: Índice de uso
Idj: Índice de disponibilidad

Los valores de caudal del tramo se determinaron a partir del cálculo de la velocidad media para cada sección y se multiplicaron por el factor de 0.85, como una medida de estandarización (Breña y Jacobo, 2006); la expresión utilizada fue la siguiente (ecuación 4):

$$V_{Media} = 0.85 x V_{Medida} \text{ (ecuación 4)}$$

Además, se estimó el caudal por celda en cada sección con el método de velocidad – área. Para realizar dicho cálculo se utilizó la siguiente fórmula (ecuación 5):

$$Q_i = V_{Medida}\left[\frac{1}{4}(X_i - X_{i-1})(Z_i + Z_{i-1}) + (X_{i+1} - X_i)(Z_{i+1} + Z_i)\right] \text{ (ecuación 5)}$$

Donde:

Q_i: Caudal circundante en la celda
X_i: Distancia horizontal al origen
Z_i: Profundidad de la vertical

El caudal de la sección transversal se obtuvo mediante la siguiente expresión (ecuación 6):

$$Q_{sección} = \sum_{i=n}^{N} Qi \text{ (ecuación 6)}$$

Donde:

$Q_{sección}$ = Caudal de la sección
Q_i = Caudal de la celda "i"
N = Número de celdas

Para la simulación hidráulica con las curvas de idoneidad de especies, se utilizó el modelo System of Environmental Flow Analysis (SEFA); este software incorpora la metodología Instream Flow Incremental Methodology (IFIM). El modelamiento utiliza las elevaciones o niveles de la superficie del agua y presume que las especies acuáticas reaccionan directamente ante cambios en las variables en el cauce como velocidad, profundidad y sustrato.

Resultados

Histograma. Las mediciones de los perfiles hidrológicos presentan los caudales más altos en los meses de junio a noviembre, que corresponden a la época de lluvia, mostrando valores máximos en agosto, septiembre y octubre con 2.3, 3.2 y 2.3 m^3/s respectivamente. Con la llegada de la época seca, los caudales disminuyen considerablemente siendo marzo y abril donde se da el mayor estrés hídrico del río con caudales de 1.2 y 1.1 m^3/s cada uno (gráfico 1). La estimación de caudales medios mensuales interanuales en régimen natural para este tramo de río, indican valores en torno a los 0.1 y 0.2 m^3/s, condiciones que denotan un alto estrés hídrico para el tramo de río estudiado (gráfico 1).

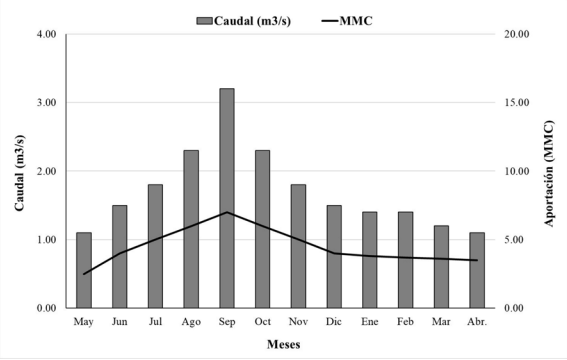


Gráfico 1. Caudales medios y aportaciones mensuales interanuales año 2018, simulados en régimen natural para la cuenca alta y media del río Cara Sucia, municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán, El Salvador.
Fuente: elaboración propia.

Curvas de idoneidad o preferencia de microhábitats. Los valores más altos de idoneidad de hábitat para los individuos juveniles de la burrita A. nigrofasciata, de acuerdo con la velocidad del agua, se presentó en un rango de 0.65 a 0.55 (m/s), siendo estos los valores óptimos de velocidad; posteriormente la curva decrece significativamente a medida que la velocidad aumenta (gráfico 2a). Con respecto a la profundidad, los valores de idoneidad más altos se registraron entre 0.3 a 0.5 m; posteriormente la curva decrece drásticamente a medida que la profundidad aumenta (gráfico 2b). Asimismo, la curva de preferencia de microhábitats según el tipo de refugio, indicó que la burrita negra en su fase juvenil prefiere hojarascas, roca y vegetación sumergida (gráfico 2c).

Por su parte, los ejemplares adultos mostraron altos valores de idoneidad a velocidades de 0.55 a 0.70 m/s, siendo un rango óptimo para estos ejemplares; posteriormente la curva decrece drásticamente a medida que la velocidad aumenta (gráfico 2a). Con respecto a la profundidad, los adultos requieren altos valores, siendo los óptimos entre 1.2 a 2.0 m, a mayor profundidad la curva decrece abruptamente (gráfico 2b). Por último, estos ejemplares prefieren refugios asociados a ramas y vegetación sumergida (gráfico 2c).

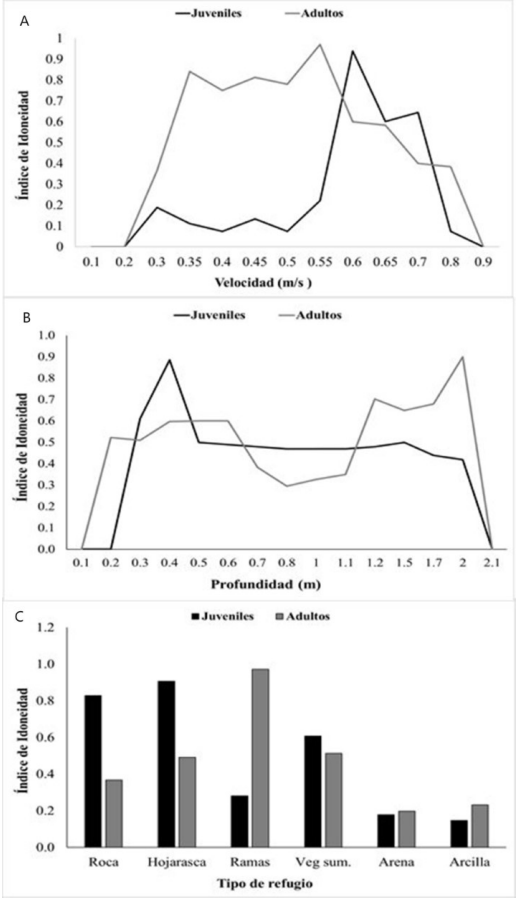


Gráfico 2. Curva de idoneidad de *A. nigrofasciata* por: a) velocidad (m/s), b) profundidad (cm), y c) tipo de refugio, para jóvenes y adultos, río Cara Sucia, municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán, El Salvador.
Fuente: elaboración propia.

Hábitat disponible de uso. Al relacionar la curva de hábitat potencial de uso, con los valores de caudales para los especímenes juveniles y adultos de la burrita negra, se presentaron diferencias marcadas en estos valores: los individuos juveniles presentaron un rango óptimo de habitabilidad entre 2.0 a 3.0 m^3/s, posteriormente con caudales más altos la curva decae abruptamente (gráfico 3); asimismo, los ejemplares adultos mostraron su rango óptimo de habitabilidad entre 5.0 a 15.0 m^3/s, mostrando una caída abrupta de la curva a caudales mayores (gráfico 3).

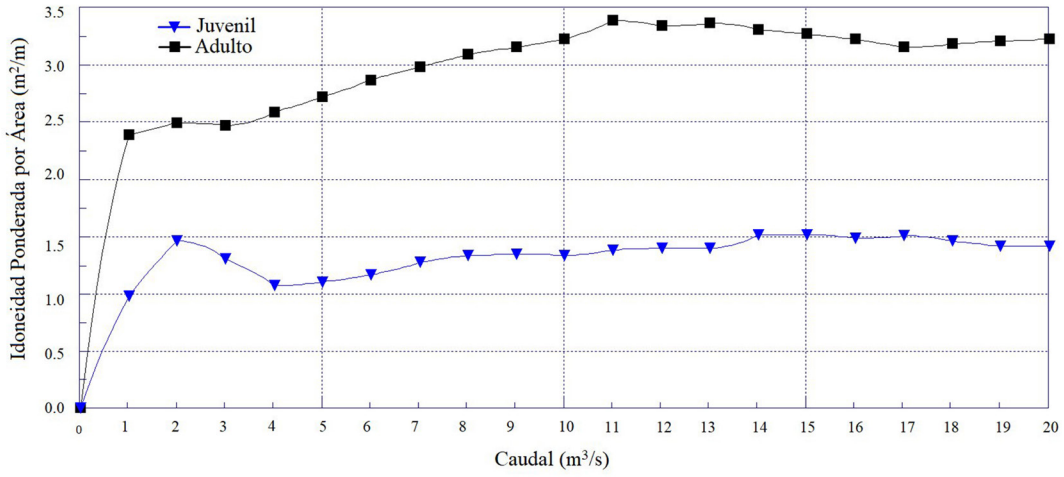


Gráfico 3. Simulación de hábitat potencial de uso para individuos juveniles y adultos de A. nigrofasciata con respecto a los caudales, en el río Cara Sucia, municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán, El Salvador.
Fuente: elaboración propia.

Simulación de hábitat. La simulación de hábitat físico de los ejemplares juveniles de la burrita negra, muestra los sitios de preferencia de esta especie a lo largo del tramo del río en un escenario con un caudal de 1.0 m^3/s. Los individuos se concentran principalmente en algunas zonas de las secciones uno a la tres, donde se muestran los valores más altos de idoneidad (gráfico 4a). Al incrementar el caudal en un escenario de 2.0 m^3/s, el río aumenta el espejo de agua y se reducen las zonas de hábitat disponibles para la especie siempre en las mismas secciones (gráfico 4b); asimismo, con caudales de 11.0 m^3/s, el río incrementa significativamente su espejo de agua, y las zonas de hábitat físico para la especie se reducen significativamente registrando parches aislados en las secciones dos, tres y cuatro (gráfico 4c).

La simulación de hábitat físico de los ejemplares adultos de la burrita negra, muestran mejores condiciones de habitabilidad en los sitios de preferencia de esta especie a lo largo del tramo del río, en un escenario con un caudal de 1.0 m^3/s. Los individuos se distribuyen en casi todo el tramo del río desde la sección una a la tres, donde se muestran los valores más altos de idoneidad (gráfico 5a). Al incrementar el caudal en un escenario de 2.0 m^3/s, el río aumenta el espejo de agua y se reducen las zonas de hábitat disponible para la especie, siendo más importante entre las secciones uno y dos, y tres

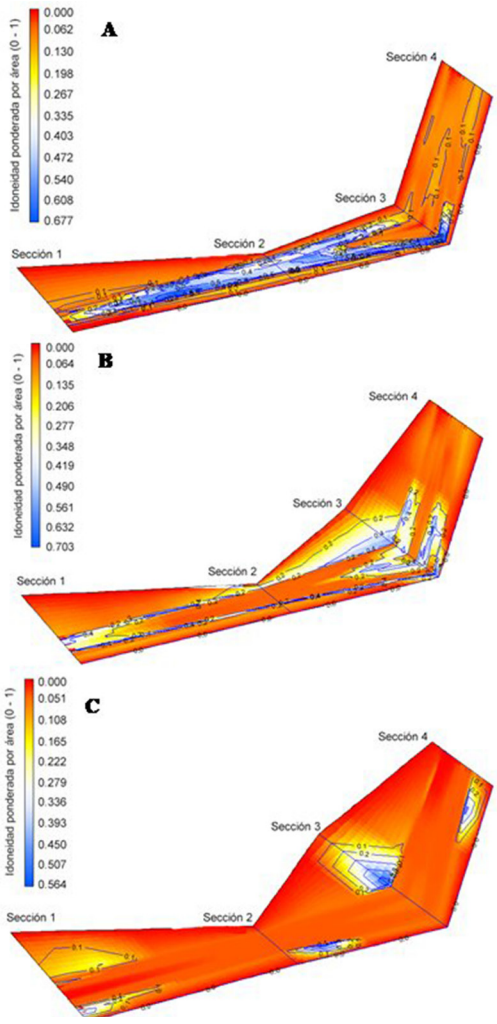


Gráfico 4. Simulación de hábitat físico de individuos juveniles de A. nigrofasciata con base a diferentes caudales: a) 1.0 m^3/s, b) 2.0 m^3/s y c) 11.0 m^3/s, río Cara Sucia, municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán, El Salvador.
Fuente: elaboración propia.

y cuatro (gráfico 5b); asimismo, con caudales de 11.0 m3/s, el río incrementa significativamente su espejo de agua y las zonas de hábitat físico para la especie se reducen significativamente, registrando parches aislados en las secciones dos y tres (gráfico 5c).

Discusión

El caudal ecológico es aquel que permite un volumen y calidad de agua necesario para el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial, que se encuentra en un tramo de río en condiciones naturales (Martínez-Capel, 2001). El río Cara Sucia presenta una geomorfología similar a la de los ríos presentes en otras cuencas de la zona occidental de El Salvador (Merlos, 2017); y sus condiciones hidrológicas son típicas de la mayoría de los ríos del país, donde se da un aumento del caudal en la época

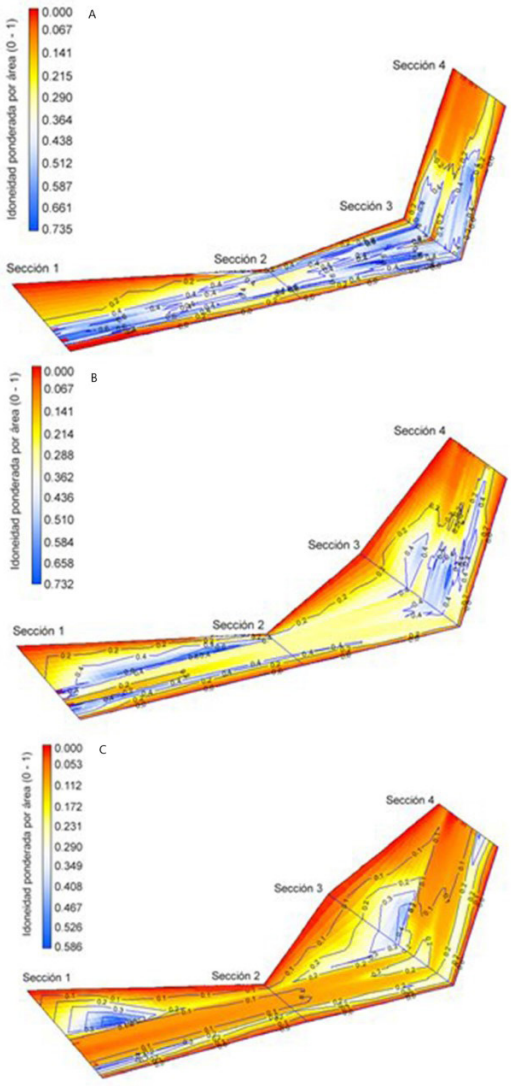


Gráfico 5. Simulación de hábitat físico de individuos adultos de *A. nigrofasciata* con base a diferentes caudales: a) 1.0 m^3/s, b) 2.0 m^3/s y c) 11.0 m^3/s, río Cara Sucia, municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán, El Salvador.
Fuente: elaboración propia.

de lluvia y una drástica disminución de este en la época seca; siendo más sentida la disminución en los meses de marzo y abril (MARN 2017a).

La estimación de caudales ecológicos bajo diferentes condiciones geomorfológicas (por ejemplo la presencia de un amplio canal, presencia de materia rocoso, curvaturas suaves, entre otras), permiten la identificación de hábitats potenciales para la especie y la biodiversidad acuática en general. Las tendencias del flujo de agua en el río Cara Sucia muestran un comportamiento típico de los ríos del corredor seco centroamericano, en donde se registran caudales con bajos volúmenes de agua en la época

seca y transición seca-lluvia, y valores altos durante la época de lluvia (MARN, 2017b). En los meses de marzo y abril tiene lugar el estrés hídrico más fuerte el cual está en función de la poca disposición de agua, debido al poco drenaje de agua hacia el cauce del río y el uso indiscriminado del agua para el riego agrícola; esta situación se agrava con largos períodos de sequía en el tiempo canicular (junio a septiembre) cuando es un año de El Niño (Ravelo *et al.*, 2016).

El río Cara Sucia muestra condiciones de estrés hídrico medio, situación que ha empeorado en los últimos años donde se ha identificado que el río se seca completamente en la parte baja de la cuenca, en gran parte por la alta extracción y desvío de agua para la agricultura y la ganadería (Quiñónez, 2016). La estimación de los caudales medios mensuales interanuales en el régimen natural para este tramo de río, indica que, en ausencia de alteraciones ecológicas durante las lluvias, el río alcanza magnitudes de caudales altos con varios días de duración, cuyas aguas son extraídas para riego y silvicultura (MARN, 2017b), y los caudales circundantes pueden encontrarse entre 0.1 a 0.2 m^3/s, condiciones que denotan un alto estrés hídrico para el tramo de río estudiado.

La burrita *A. nigrofasciata* es una especie de pez dulceacuícola, adecuada para su uso como especie indicadora de caudales ecológicos (González-Leiva *et al.*, 2018), por ser una especie nativa, abundante y tener importancia para el consumo de los pescadores locales. Esta especie requiere diferentes velocidades de agua de acuerdo con su crecimiento ontogénico: ejemplares juveniles requieren menos velocidad que los adultos. Similar comportamiento se da con la profundidad de agua; siendo estos requerimientos hidrológicos necesarios para asegurar la supervivencia y conservación de la especie tal como lo sugiere González-Leiva *et al.* (2018), aunado a la presencia de vegetación y ramas o troncos sumergidos, rocas sueltas de pequeño y gran tamaño en el tramo del río, que representan ambientes propicios para esta especie; similar comportamiento para esta especie lo registra Álvarez *et al.* (2017) en el río Acahuapa, San Vicente, El Salvador. En estos microhábitats, los ejemplares de la burrita negra realizan actividades relacionadas con la alimentación, refugio, reproducción, cuido parental entre otras, siendo información importante al momento del otorgamiento de permisos para extraer material pétreo del río, ya que de hacerlo de forma desmedida y sin control, causa pérdida de estos hábitats esenciales de la especie.

Con respecto al hábitat de uso disponible, se determinó que la burrita negra requiere diferentes valores de caudales con respecto a su desarrollo ontogénico: en el caso de juveniles, la curva de habitabilidad alcanza la asíntota con caudales de 2.0 m^3/s; y, para los adultos en 5.0 m^3/s; esto sugiere la necesidad de mantener un caudal en condiciones ideales para la especie, cuya influencia pudiera alcanzar la parte baja de la cuenca donde el río confluye con los ríos El Izcanal, Aguachapío y Zanjón El Chino. Sin embargo, en el tramo estudiado, los valores idóneos (1.0 m^3/s), podrían ser alcanzables si se trabaja en la conservación del suelo y reforestación de zonas de recarga de la parte alta de la cuenca, de manera que esta produzca valores superiores de caudal base durante la estación seca.

La simulación de hábitat físico evidencia que las zonas óptimas donde se puede encontrar la especie, deben tener condiciones hidrológicas con caudales arriba de 2.0 a 3.0 m^3/s para ejemplares juveniles y adultos; estos valores aseguran la presencia de un perímetro de humedad suficiente para mantener los microhábitats esenciales para la especie.

La presencia de altos caudales en el río se da en la época de lluvia, donde la burrita negra y muchas otras especies de peces, encuentran en refugio en las rocas o meandros cercanos para evitar el efecto de arrastre río abajo por las fuertes corrientes típicas de esta época. Al avanzar a la época seca los caudales bajan significativamente y las corrientes disminuyen: esto permite que los individuos retornen nuevamente a estos sitios para repoblarlos (MARN, 2021), siempre y cuando las condiciones del caudal sean las adecuadas, tal como se evidenció en la determinación del caudal ecológico mínimo que permite mantener estas poblaciones, y el resto de la biodiversidad acuática del río.

Referencias bibliográficas

Álvarez, F. A., Matamoros, W.A. y Chicas, F. A. (2017) The contribution of environmental factors to fish assemblages in the Río Acahuapa, a small drainage in Central America. *Neotropical Ichthyology*. 15(3): e170023.

Agualimpia, D.Y. y Castro, M.C.E. (2006) Metodologías para la determinación de los caudales ecológicos en el manejo de los recursos hídricos. *Tecnogestión*, 3(1), 1-13. Disponible en: https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/4333

Baeza, D. y Del Jalón, G. (1997) Caracterización del régimen de caudales en 16 ríos de la cuenca del Tajo atendiendo a criterios biológicos. *Limnetica*, 13(1), 69-78. Disponible en: http://blog.uclm.es/grupotajo/files/2016/01/Caracterizaci%C3%B3n-del-r%C3%A9gimen-de-caudales-de-r%C3%ADos-de-la-cuenca-del-Tajo-atendiendo-a-criterios-biol%C3%B3gicos.pdf

Bovee, K.D., Lamb, B.L., Bartholow, J.M., Stalnaker, C.B., Taylor, J. y Henriksen, J. (1998) *Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology*. U.S Geological Survey, Biological Resources Division Information and Technology Report USG/BRD-1998-0004.

Breña Puyol, A. F. y Jacobo Villa, M. A. (2006) *Principios y fundamentos de la hidrología superficial.* Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Chile. Empresa Nacional de Electricidad S.A -ENDESA- (2011) *Introducción al cálculo de caudales ecológicos, un análisis de las tendencias actuales*. Disponible en: https://es.slideshare.net/albinomarcoyical/introduccin-al-clculo-de-caudales-ecolgicos

Chile. Ministerio de Obras Públicas, Centro de Ecología Aplicada LTDA –CEA- (2008) *Determinación de caudales ecológicos en cuencas con fauna íctica nativa y en estado de conservación.* Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos. Disponible en: https://snia.mop.gob.cl/sad/ECO5182.pdf

Dimas, L. (2005) *La situación del recurso hídrico en El Salvador.* Boletín FUSADES. San Salvador, El Salvador.

Domínguez, A.C. (2007) *Caracterización biofísica de ecosistemas acuáticos asociados al río Cara Sucia, en el municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán, El Salvador.* International Union for Conservation of nature (UICN). Proyecto BASIM. – 1era. ed. San José, Costa Rica.

El Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales –MARN- y Servicio Nacional de Estudios Territoriales –SNET- (2002) *Análisis del comportamiento hídrico en El Salvador, posibles causas e implicaciones.* Disponible en: https://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00069/doc00069.htm

El Salvador. Ministerio de Agricultura y Ganadería –MAG- (2012) *Clasificación de ríos por cuencas hidrográficas de El Salvador, C.A.* Dirección General de Ordenamiento Forestal, Cuencas y Riego. Disponible en: http://cartografia.mag.gob.sv/index.php/documentacion-tecnica/category/1-documentacion-tecnica?download=1:clasificacion-de-rios-por-cuencas-hidrograficas-es

El Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales –MARN- (2017a) *Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador, con énfasis en zonas prioritarias.* Disponible en: http://cidoc.marn.gob.sv/documentos/plan-nacional-de-gestion-integrada-del-recurso-hidrico-de-el-salvador-con-enfasis-en-zonas-prioritarias/

El Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales –MARN- (2017b) *Elaboración de una metodología para el cálculo de los caudales ecológicos.* Disponible en: http://cidoc.marn.gob.sv/documentos/elaboracion-de-una-metodologia-para-el-calculo-de-los-caudales-ecologicos/

El Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales –MARN- (2021) *Definición de indicadores biológicos para la determinación de caudales ecológicos en tramos de ríos de las cuencas hidrográficas Tamulasco, Sapo, Cara Sucia, Grande de Sonsonate y Grande de San Miguel.* Dirección de Seguridad Hídrica. Resolución MARN UAIP No. 2021-0162. Santa Tecla: El Salvador.

Falkenmark, M., Lundquist, J. y Widstrand, C. (1989) Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: aspects of vulnerability in semi-arid development. *Natural resources forum,* 13(4), 258-267. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12317608/

González-Leiva, J.A., Segovia, J.V., Martínez W., Ascencio, C., Trejo, A. y Maldonado, E. (2018) El caudal ecológico como herramienta de gestión sostenible de los recursos hídricos: caso de estudios en El Salvador. *Rev. El Salvador Ciencia y Tecnología*. Vol. 23 (35). 8p.

Jackson, R.B., Carpenter, S.R., Dahm, C.F., McKnight, D.M., Naiman, R.J., Postel, S.L. y Running, S.W. (2001) Water in changing world. *Ecological applications*, 11(4), 1027-1045. Disponible en: https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/1051-0761%282001%29011%5B1027%3AWIACW%5D2.0.CO%3B2

McMahan-Caleb, D., Matamoros, WA., Álvarez-Calderón, FS., Henríquez, WY., Recinos, HM., Chakrabarty, P., Barraza, E. y Herrera, N. (2013) Checklist of the Inland Fishes of El Salvador. *Zootaxa*, 3608 (6), 440-456.

McMahan-Caleb, D., Matamoros, WA., Barraza, E., Kutz, J. y Chakrabarty, P. (2014) *Taxonomic status of the Lago Coatepeque endemic convict Cichlid Amatitlania coatepeque (Teleostei: Cichlidae).* Copeia, 4, 633-638.

Mateo-Sagasta, J. (2017) *Reutilización de aguas para la agricultura en América Latina y el Caribe, estado, principios y necesidades.* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: http://www.fao.org/3/a-i7748s.pdf

Martínez-Capel, F. (2001) Preferencias de microhábitat *Barbus bocagei, Chondrostoma polylepis* y *Leuciscus pyrenaicus* en la cuenca del río Tajo. *Ecosistemas*, 11(1), 1-3. Disponible en: http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/9846

Merlos, R. (2017) *Determinación de caudal ecológico para PCH en El Salvador, con base a los criterios establecidos por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales* (Tesis de Maestría). Universidad de Don Bosco: El Salvador.

Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura – FAO- y Ministerio de Agricultura y Ganadería (2017) *Estrategia nacional de manejo de cuencas hidrográficos de El Salvador.* Disponible en: http://centa.gob.sv/docs/unidad%20ambiental/Estrategia%20Cuencas.pdf

Poff, N.L., Richter, B.D., Arthington, A.H., Bunn, S.E., Naiman, R.J., Kendy, E., Acreman, M., Apse, C., Bledsoe, B.P., Freeman, M.C., Henriksen, J., Jacobson, R.B., Kennen, J.G., Merritt, D.M., O'keeffe, J.H., Olden, J.D., Rogers, K., Tharme, R.E. y Warner, A. (2010) The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater biology*, 55,147-170. Disponible en: https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02204.x

Pont, D., Hugueny, B., Beier, U., Goffaux, D., Melcher, A. y Noble, R. (2006) Assessing river biotic condition at a continental scale: A European approach using functional metrics and fish assemblages. *Journal of applied ecology*, 43 (1), 70-80. Disponible en: https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01126.x

Quiñónez, J. (2016) *Situación de los recursos hídricos en Centroamérica*. Global Water Partnership Centroamérica. Tegucigalpa, Honduras.

Ravelo, A., Planchuelo, M., Aroche, V., Douriet, C., Alegría, H., Jimenez, R., Maureira, H., Paz, P., Tiscornia, G., Zanvettor, R. y Zimmermann, R. (2016) *Monitoreo y evaluación de las sequías en América Central*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. Disponible en: https://euroclimaplus.org/images/Publicaciones/LibrosEUROCLIMA/JRC_Monitoreo-Evaluacion-Sequias_AmericaCentral.pdf

Rodrigues da Costa, M., Mattos, T.M., Fernández, V.H., Martínez-Capel, F., Muñoz-Mas, R. y Araújo, F.G. (2015) Application of the physical habitat simulation for fish species to assess environmental flows in an Atlantic Forest Stream in South-eastern Brazil. *Ictiología Neotropical*, 4(13), 685-698. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1590/1982-0224-20140170

Rodríguez-Gallego, L., Chreties, C., Crisci, M., Fernández, M., Colombo, N., Lanzilotta, B., Saravia, M., Neme, C., Sabaj, V. y Daniel, C. (2012) *Fortalecimiento del concepto de caudales ambientales como herramienta para la gestión integrada de los recursos hídricos.* Vida Silvestre, Uruguay. Disponible en: http://www.anong.org.uy/docs/Informe%20final%20Caudales%20Ambientales.pdf

Waddle, T. (2001) *PHABSIM for Windows, User´s manual and exercises midcontinent. Ecological Science Center* (No. 2001-340).

World Wildlife Fund –WWF- (2010) *Caudal ecológico, salud al ambiente agua para la gente*. Disponible en: http://awsassets.panda.org/downloads/fs_caudal_ecologico.pdf