



Nivel de alteración ecohidrológica en ríos perennes de la cuenca del río Ayuquila-Armería

Level of ecohydrological alteration in perennial rivers of the Ayuquila-Armeria river basin

Francia Elizabeth Rodríguez Contreras, Luis Manuel Martínez Rivera* y Claudia Irene Ortiz-Arrona¹

Centro Universitario de la Costa Sur de la Universidad de Guadalajara. Av. Independencia Nacional 151, Centro, 48900 Autlán de Navarro, Jal.

RESUMEN

La cuenca del río Ayuquila-Armería es la más grande en el estado de Colima y la tercera en Jalisco, tiene un área de 9,796 km². Las presiones antropogénicas, como contaminación puntual o difusa, extracciones de agua, regulación del flujo, entre otras, ejercidas a las cuencas pueden alterar la calidad, cantidad y/o temporalidad del agua, la morfología del cauce, la biodiversidad y sus riberas principalmente. El objetivo fue identificar las principales alteraciones ecohidrológicas de los ríos perennes en la cuenca Ayuquila-Armería. Se delimitaron 45 microcuencas de los ríos perennes en la cuenca. Se evaluó el grado de alteración ecohidrológica mediante un análisis multicriterio siguiendo la metodología de Garrido y colaboradores utilizando 13 variables en tres niveles jerárquicos: red fluvial, zona ribereña y microcuenca hidrográfica. Un análisis inexistente hasta el momento. El 33 % de la cuenca se clasifica con un nivel de alteración "alto" y casi un 55 % con un nivel "muy bajo". Estos resultados difieren a los obtenidos a nivel nacional, donde clasifican a la cuenca Ayuquila-Armería con un nivel de alteración ecohidrológica "alto". Las microcuencas con mayor nivel de alteración ecohidrológica están afectadas por la modificación en la infraestructura de la red fluvial, relacionada con la agricultura.

Palabras clave: alteración ecohidrológica, red fluvial, zona ribereña, microcuenca.

ABSTRACT

The Ayuquila-Armeria river is the largest basin in the state of Colima and the third in Jalisco, with an area of 9,796 km². Anthropogenic pressures, such as point or diffuse pollution, water withdrawals, flow regulation, among others, exerted on the basins can alter the quality, quantity and / or temporality of the water, the morphology of the riverbed, biodiversity and its riverbanks mainly. The objective was to identify the main ecohydrological alterations of the perennial rivers in the Ayuquila-Armeria basin. 45 micro-basins of the perennial rivers in the basin were delimited. The degree of ecohydrological alteration was evaluated through a multicriteria analysis following the methodology of Garrido and collaborators using 13 variables at three hierarchical levels: river network, riverine area and hydrographic micro-basin. A non-existent analysis exists so far. Thirty three percent of the basin is classified with a "high" level of alteration and almost 55 % with a "very low" level. These results differ from

those obtained at the national level, where they classify the Ayuquila-Armeria basin with a "high" ecohydrological alteration level. Micro-basins with a higher level of ecohydrological alteration are affected by the modification in the infrastructure of the river network, related to agriculture.

Keywords: ecohydrological alteration, fluvial network, riparian zone, micro basin.

INTRODUCCIÓN

Las principales presiones a los cuerpos de agua son: fuentes de contaminación puntuales y difusas, extracciones de agua, regulación del cauce con modificaciones morfológicas (presas, canalización, hidroeléctricas, dragados), introducción de especies exóticas y cambio de uso de suelo de las llanuras de inundación (agricultura, pastoreo y urbanización) (Directiva, 2000; Meybeck, 2003; Puig *et al.*, 2006).

Garrido y colaboradores (2010) evaluaron la alteración ecohidrológica de los ríos de México, y clasifican a la cuenca Ayuquila-Armería en un nivel de alteración ecohidrológica "alto", que estaba asociado a los ríos más represados del país y la cantidad de población existente. Bunge (2010) calculó la presión hídrica en el país a partir del agua extraída y su relación con su disponibilidad. En su estudio la cuenca Ayuquila-Armería tiene un nivel de presión hídrica fuerte, porque se utiliza más del 40 % de agua disponible. Cotler *et al.* (2010) consideran a la cuenca Ayuquila-Armería como prioritaria a nivel nacional debido al deterioro de su dinámica funcional basado en la caracterización de Bunge (2010) y Garrido *et al.* (2010).

Las principales presiones antropogénicas en la cuenca del río Ayuquila-Armería son las fuentes de contaminación puntual por descargas de agua residual de las localidades urbanas y semiurbanas. Entre las descargas de agua no puntuales están principalmente la actividad hidroagrícola, generalmente por agroquímicos y las pecuarias de las que no existe información precisa para este tipo de contaminación (CNA y Montgomery, 2001).

Aguas abajo de las tres principales presas, la mayor perturbación se da en la continuidad longitudinal y transversal del río, y modificando variables como régimen de temperatura, regulación de la corriente e inundación de llanuras, lo que genera una reestructuración de las comunidades bióticas, aunque algunas de las condiciones ambientales se pueden recuperar río abajo (Ward, 1998). La presencia de

*Autor para correspondencia: Luis Manuel Martínez Rivera
Correo electrónico: lmartinez@cucsur.udg.mx

Recibido: 7 de julio de 2019

Aceptado: 11 de diciembre de 2019

especies de peces exóticas, está altamente relacionadas con la presencia de presas, lo que se vuelve una amenaza para la fauna nativa (Miller, 2009). Otros impactos al ecosistema acuático son los basureros en los márgenes de los ríos (Cotler y Caire, 2009) o prácticas como el dragado para el desazolve y rectificación de los cauces (Ortiz, 2015).

Los estudios hidrológicos por lo general abordan el análisis desde la hidráulica del río o bien de una o varias especies objetivo, pero tomando en cuenta la cantidad, temporalidad y continuidad del flujo (Meza *et al.*, 2017). Otro enfoque se basa en los procesos ecohidrológicos, que se desprenden de los servicios ecosistémicos que proveen los ríos enfocado en evaluar la moderación del clima, y a la cantidad y temporalidad de los regímenes hidrológicos, así como la calidad del agua principalmente en los ciclos biogeoquímicos (NMX-AA-159-SCFI-2012; Sun *et al.*, 2017).

En esta investigación definimos alteración ecohidrológica como los efectos que tienen los procesos hidrológicos en la distribución, estructura y función de los ecosistemas que disminuyen la capacidad que tienen los ríos para brindar los servicios ambientales (Modificado de NMX-AA-159-SCFI-2012; Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2017).

El presente estudio tiene como objetivo identificar cuáles son las principales alteraciones ecohidrológicas de los ríos perennes en la cuenca del río Ayuquila-Armería, un análisis inexistente hasta el momento. Para que esta investigación coadyuve como una herramienta a los tomadores de decisiones a identificar las áreas prioritarias que deben ser atendidas para su conservación, así como aquellas que requieren acciones de manejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La cuenca Ayuquila-Armería (figura 1) tiene un área de 9,796 km² y abarca 32 municipios de Jalisco y 9 de Colima (centro-oeste de México) (Instituto Nacional de Estadística Geografía [INEGI], 2010a; INEGI, 2010b). El rango de elevación es de 0 a 4239 m s. n. m. (National Aeronautics and Space Administration [NASA], 2009).

Las localidades más grandes en la cuenca son las ciudades de Colima (Colima) y Autlán de Navarro (Jalisco). Los tipos de descargas son principalmente urbanas, sin embargo, también hay descargas de prestadores de servicios. Respecto a las descargas industriales principales son las del Ingenio Melchor Ocampo, en la subcuenca Ayuquila; la industria del destilado de agave en la subcuenca Tuxcacuesco; e industrias alimenticias en la subcuenca Armería (Comisión Nacional del Agua [CNA] y Montgomery, 2001).

Métodos

En la figura 2 se describe un diagrama de flujo con la metodología resumida. Se delimitaron 45 microcuencas de los ríos perennes dentro de la cuenca de estudio (figura 3), a partir de un MDE de 30 metros por pixel (NASA, 2009) y los ríos perennes (INEGI, 2010b) basado en el área de drenaje

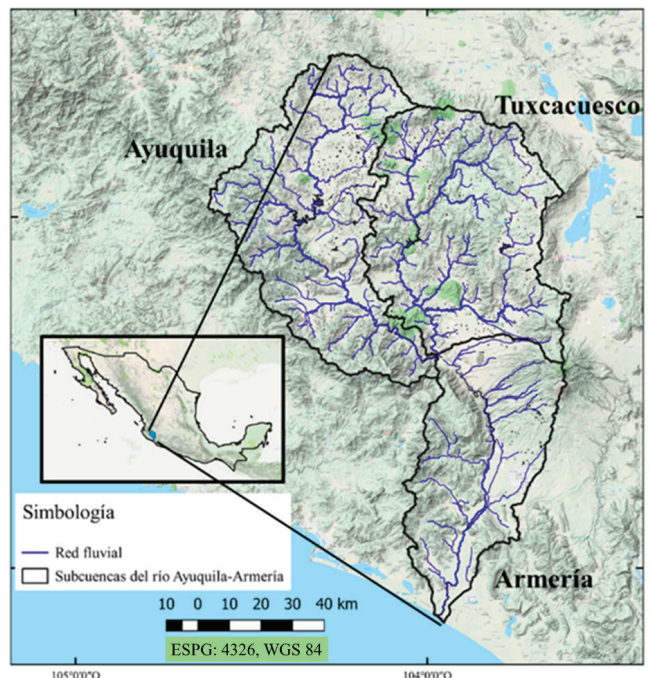


Figura 1. Cuenca del río Ayuquila-Armería, México y su red hidrográfica. Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2010b) y Google Terrain (Google Inc, 2017).

Figure 1. The Ayuquila-Armería river basin, Mexico and its hydrographic network. Source: Own elaboration based on INEGI (2010b) and Google Terrain (Google Inc, 2017).

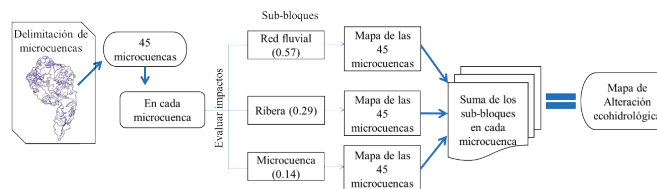


Figura 2. Modelo metodológico.

Figure 2. Methodological model.

con la herramienta Upslope Area [interactive] de System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) GIS 2.1.2 (Conrad *et al.*, 2015) en el que se delimitó cada microcuenca a partir de la línea inicial de cada río perenne por separado. Esto se hizo en un sistema de referencia de coordenadas ESPG: 4326, WGS 84 a una escala 1: 50,000.

Para evaluar el grado de alteración ecohidrológica de cada microcuenca se utilizó la metodología propuesta por Garrido y colaboradores (2010), porque tiene un análisis integral de variables que consideran no solo impactos en el flujo del agua y su distribución a lo largo del tiempo (Martínez y Fernández, 2010), muy relevante desde el punto de vista social porque asegura un desarrollo económico, sino que también incluye variables que implican calidad del agua y aspectos que influyen en los hábitats para los organismos acuáticos y considera la importancia de la zona riparia para el funcionamiento ecosistémico de los cuerpos de agua. Así mismo, la metodología de Garrido *et al.*, (2010) es utilizada

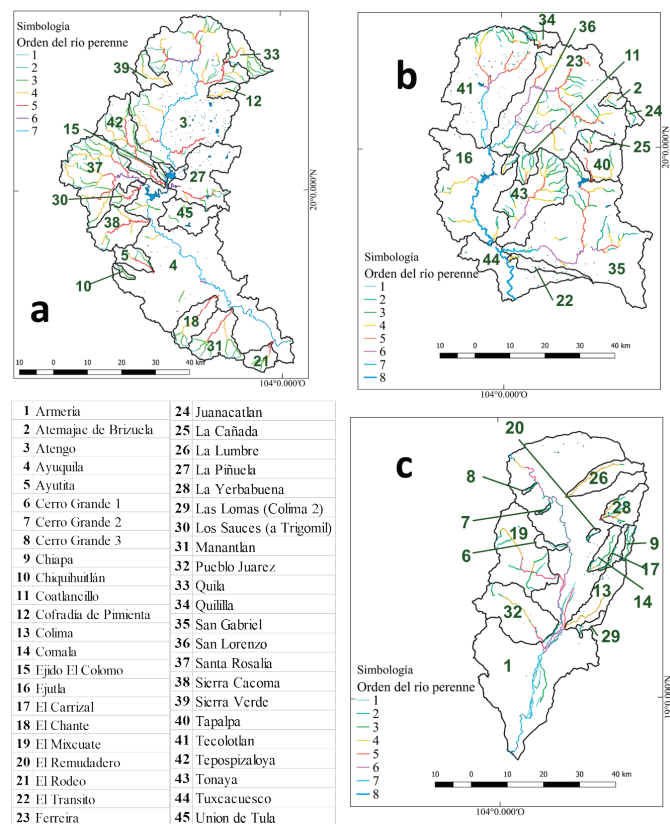


Figura 3. Microcuencas de los ríos perennes en la cuenca del río Ayuquila-Armería. a) Ayuquila, b) Tuxcacuesco y c) Armería. Elaboración propia.

Figure 3. Micro-basins of the perennial rivers in the Ayuquila-Armería river basin. a) Ayuquila, b) Tuxcacuesco and c) Armería. Own elaboration

por instancias nacionales en materia ambiental, en el que evalúan los impactos sobre tres niveles jerárquicos que denominaremos sub-bloques: a) la red fluvial, b) la zona ribereña y c) la cuenca hidrográfica (en este caso microcuenca hidrográfica), posteriormente en cada microcuenca se sumó cada sub-bloque y se integró en un mapa d) la alteración ec hidrológica. Se utilizaron 13 variables en total (tabla 1).

Los tres sub-bloques y sus variables se analizaron en cada microcuenca hidrográfica por separado. Los pesos asignados para integrar cada sub-bloque fueron los que utilizaron Garrido y colaboradores (2010), en el que establecieron la relación de dos veces más importante (o con doble peso) el primer sub-bloque que el segundo, y el segundo sub-bloque con el doble de peso que el tercer sub-bloque. Estos criterios fueron avalados por un grupo de 25 expertos incluidos ictiólogos, ecólogos, especialistas en hidrología, geomorfología, biólogos, limnólogos, entre otros (Garrido *et al.*, 2010). Quedando 0.57 para el impacto directo en la red fluvial; 0.29 para el impacto de la zona riparia y; 0.14 para el impacto de las microcuencas hidrográficas (tabla 2).

Para comparar las variables entre sí, dentro de cada sub-bloque se dividió el peso total asignado a cada sub-bloque entre el número de variables y se le estableció el valor a cada variable. Cuando dentro de una variable existían categorías, éstas se ponderaron entre sí, para ajustarse al valor de cada variable máximo. Por ejemplo, el impacto a la

red fluvial tiene un peso de 0.57, en este caso se utilizaron seis variables, por lo que cada variable de este bloque tuvo un valor máximo de 0.095. Una vez evaluadas las variables de cada tipo de impacto, se estandarizaron las variables de manera individual.

a) El impacto de la red fluvial

Se consideran las obras de infraestructura que afectan el caudal y régimen natural del flujo del agua, se evalúa la calidad del agua y el impacto en la biodiversidad a través de especies invasoras. Estos tres tipos de impactos se evaluaron a través de seis variables: 1) el ICA reportado por CNA y Montgomery (2001), en el que se estimaron 19 parámetros de calidad del agua. Aunque no es un estudio actual, se utilizó porque es el único estudio que abarca toda la cuenca y con una metodología estandarizada que lo hace posible compararlo a nivel cuenca. Si bien hay otros estudios más recientes, pero son básicamente locales y el objetivo del trabajo es evaluar toda la cuenca. Así mismo, cuando se realizó ese estudio (CNA y Montgomery, 2001) las plantas de tratamiento de aguas residuales no funcionaban y la situación sigue igual; se toman en cuenta sólo las aguas residuales urbanas porque en la cuenca no hay tantas industrias a excepción del Ingenio Melchor Ocampo (de caña) (CNA y Montgomery, 2001) y destiladoras de agave principalmente en el municipio de Tonaya, que vierten sus aguas al drenaje urbano (Rodríguez *et al.*, 2017); 2) las presas más grandes dentro de la cuenca son: a) Presa Tacotán, que regula el flujo del río Ayutla-Ayuquila; b) Presa Trigomil, aguas abajo de la presa Tacotán, regula el río Ayutla – Ayuquila; y c) Presa Basilio Vadillo (Las Piedras), regula el flujo de la parte alta y media del río Tuxcacuesco (Sistema de Información de Unidades de Riego, 1999, en CNA y Montgomery, 2001; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2011); 3) los dos distritos de riego: Distrito de Riego Jalisco Sur (módulos de riego Autlán-El Grullo) y Riego del Estado de Colima (módulo de Peñitas) (Comisión Nacional del Agua [Conagua], 2016); 4) las cinco principales derivadoras en la cuenca son: Corcovado, para el riego agrícola de el Grullo y Autlán; Peñitas, irriga el Distrito de Riego del Estado de Colima; Gregorio López Quintero (Jala), para las lagunas de Amela y Alcuahue; Madrid y Colimán, el agua es para la zona de riego de Armería-Cuyutlán (CNA y Montgomery, 2001); 5) la frecuencia de las intersecciones de vías de comunicación en el tramo de los ríos perennes (Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT], 2012); y 6) las especies exóticas de peces reportadas para la cuenca: *Cyprinus carpio*, *Lepomis macrochirus*, *Micropterus salmoides*, *Oreochromis aureus*, *Poeciliopsis infans*, *Tilapia rendalli* y *Xiphosphorus helleri* (Martínez-Rivera *et al.*, datos no publicados del monitoreo trimestral que se tiene desde 2001 hasta el 2019 del Centro Universitario de la Costa Sur de la Universidad de Guadalajara; Michel *et al.*, 2010; com. pers. Mercado Silva, 2018). En cada microcuenca se sumaron las variables presentes y el resultado correspondió al nivel de alteración, en donde el máximo puntaje fue 0.57 (tabla 2). Todas las microcuencas fueron integradas espacialmente y se

Tabla 1. Variables utilizadas para la elaboración de la evaluación de la alteración ecohidrológica de la cuenca del río Ayuquila-Armería adaptando la metodología de Garrido *et al.*, 2010 (* peso de ponderación).

Table 1. Variables used to prepare the evaluation of the ecohydrological alteration of the Ayuquila-Armeria river basin, adapting the methodology of Garrido *et al.*, 2010 (* weight of weighting).

| Tipo de impacto | Variables | Método | Escala | Fuente |
|--|--|---|-------------------------|--|
| Sub-Bloque: Red fluvial (0.57*) | | | | |
| Calidad del agua | 1. Índice de Calidad Ambiental (ICA) | Los resultados del ICA categorizados en excelente, aceptable, poco contaminado, contaminado y altamente contaminado. Sumándose los valores cuando existía más de un sitio en cada microcuenca | N/A | CNA y Montgomery, 2001 |
| Impacto de la infraestructura | 2. La presencia de las presas | Mapa de presas | 1: 50 000 | INEGI, 2010b |
| | 3. Distritos de riego | Mapa de distritos de riego | 1: 250 000 | Conagua, 2016 |
| | 4. Derivadoras de agua | Mapa (elaboración propia) de derivadoras de agua | 1: 250 000 | CNA y Montgomery, 2001 |
| | 5. Intersecciones de vías de comunicación en el tramo de los ríos perennes | Intersección de mapa de red de caminos con la red hidrológica. Num de intersecciones / longitud del río perenne | 1: 250 000 1: 50 000 | SCT, 2012; INEGI, 2010b |
| Impacto en la biodiversidad | 6. La presencia de especies exóticas | Presencia/ausencia de especies de peces exóticas | N/A | Martínez-Rivera <i>et al.</i> , datos no publicados UDG; Michel <i>et al.</i> , 2010 |
| Sub-Bloque: Zona ribereña (0.29*) | | | | |
| Calidad de las riberas | 7. Estado de las riberas | El estudio de calidad del estado de riberas categorizado en muy bueno, bueno, moderado y pobre. Sumándose los valores cuando existía más de un sitio en una microcuenca | N/A | Ortiz, 2015 |
| Impacto de la población | 8. Densidad de población | Número de población (corroborado con manchas urbanas y rurales) / superficie de la microcuenca | 1: 250 000 N/A | INEGI, 2016; INEGI, 2010a |
| Modificación a la estructura física del hábitat ribereño | 9. Grado de erosión hídrica | Basado en el mapa Conjunto de Datos de Erosión del Suelo | 1: 250 000 | INEGI, 2014 |
| | 10. Bancos de extracción material en la zona buffer de la ribera | Sumatoria de bancos activos (valor 2) e inactivos (valor 1) / superficie de la microcuenca | 1: 250 000 | Conagua, 2015b |
| Sub-Bloque: Microcuenca hidrográfica (0.14*) | | | | |
| Degradación de suelos | 11. Bancos de extracción de material en área de las microcuencas | Sumatoria de bancos activos (valor 2) e inactivos (valor 1) / superficie de la microcuenca | 1: 250 000 | Conagua, 2015b |
| Agua subterránea | 12. Pozos de extracción de agua | Número de pozos de extracción / superficie de la microcuenca | 1: 250 000 | Conagua, 2015a |
| Contaminación difusa | 13. Presencia de agricultura (de riego, de temporal o pastizal). | Agricultura de temporal (valor 3), de riego (valor 2) y pastizal (valor 1). Sumándose los valores cuando existía más de un tipo en una microcuenca | 1: 250 000 | CONABIO, 2001 |

N/A: no aplica.

Tabla 2. Criterios de puntuación para los niveles de impacto.

Table 2. Scoring criteria for impact levels.

| Nivel de impacto | Sub-bloques | | | Alteración ecohidrológica |
|------------------|---------------|---------------|--------------------------|---------------------------|
| | Red fluvial | Riberas | Microcuenca hidrográfica | |
| Sin alteración | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Muy Bajo | 0.001 - 0.114 | 0.001 - 0.058 | 0.001 - 0.028 | 0.01 - 0.2 |
| Bajo | 0.115 - 0.228 | 0.059 - 0.116 | 0.029 - 0.056 | 0.21 - 0.4 |
| Medio | 0.229 - 0.342 | 0.117 - 0.174 | 0.057 - 0.084 | 0.41 - 0.6 |
| Alto | 0.343 - 0.456 | 0.175 - 0.232 | 0.085 - 0.112 | 0.61 - 0.8 |
| Muy Alto | 0.457 - 0.57 | 0.233 - 0.29 | 0.113 - 0.14 | 0.81 - 1 |

generó un mapa a nivel de cuenca denominado impacto de la red fluvial.

b) El impacto de las riberas

Se determina a través del estado de las zonas de ribera de manera indirecta con el uso de suelo y vegetación, el impacto de la población y la modificación en la estructura física del hábitat ripario. Este tipo de impacto se evaluó a partir de cuatro variables: 1) el estado de las riberas en trece tipos de ríos (Ortiz, 2015); 2) el número de habitantes en cada microcuenca de los ríos perennes como indicador indirecto de presión o impacto del uso de los recursos de la zona (INEGI, 2010a); 3) el grado de erosión hídrica (INEGI, 2014); y 4) los bancos de material activos e inactivos en la zona riparia con una influencia de zona buffer de 100 metros (INEGI, 2010b; Conagua, 2015b). Se utilizaron 100 metros como un estándar promedio de varios autores a fin de tomar en cuenta un ancho óptimo necesario para mantener riqueza de especies y fungir como barrera protectora de arrastres de sedimentos a los ríos (Mendoza *et al.*, 2014), además una distancia menor no podría ser cartografiable a la escala de trabajo. En cada microcuenca se sumaron las variables presentes y el resultado correspondió al tipo de alteración, en donde el máximo puntaje fue 0.29 (tabla 2). Todas las microcuencas fueron integradas espacialmente y se generó un mapa a nivel de cuenca denominado impacto de las riberas.

c) El impacto de las microcuencas hidrográficas

Se evalúa la posible influencia que tiene el manejo y la condición del territorio que conforma la cuenca. Se evaluaron tres variables: 1) los bancos de extracción de material dentro de toda el área de cada microcuenca (Conagua, 2015b); 2) el número de pozos de extracción de agua (Conagua, 2015a); y 3) el tipo de agricultura (de riego, de temporal o pastizal) (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2001). En cada microcuenca se sumaron las variables presentes y el resultado correspondió al tipo de alteración, en donde el máximo puntaje fue 0.14 (tabla 2). Todas las microcuencas fueron integradas espacialmente y se generó un mapa a nivel de cuenca denominado impacto de la sección de microcuencas hidrográficas.

d) Alteración ecohidrológica de la cuenca del río Ayuquila-Armería

Para la alteración ecohidrológica en cada microcuenca se sumaron los valores de los tres sub-bloques red fluvial + ribera + microcuenca hidrográfica. Los valores se mueven desde 0 cuando hay inexistencia hasta 1 que es valor máximo acumulado de alteración (tabla 2). Todas las microcuencas fueron integradas espacialmente y se generó un mapa a nivel de cuenca denominado impacto de la alteración ecohidrológica.

RESULTADOS

Impacto en la red fluvial

El impacto en la infraestructura de la red fluvial está presente en todas las microcuencas con algún grado de alte-

ración en este sub-bloque (figura 4). Cabe destacar aquí que la presencia de especies exóticas solo está reportada para las cuatro microcuencas (Ayuquila, Armería, Ejutla y Tuxcacuesco) que son el cauce principal de la cuenca y las que tienen mayor impacto en la red fluvial (figura 4).

Impacto en las riberas

Lo que más influye en las riberas de las microcuencas es la modificación de la estructura física, debido al grado de erosión hídrica a los bancos de extracción de material en las riberas (figura 5). Las ciudades con mayor densidad de población en la subcuenca Ayuquila son Autlán de Navarro y El Grullo (81,400 habitantes) y en la subcuenca Armería son Colima, Villa de Álvarez, Tecomán, Armería y Comala (429,170 habitantes) (INEGI, 2010a).

Impacto en las microcuencas hidrográficas

La mayoría de las microcuencas con un nivel "medio" se encuentran en la parte baja de la cuenca, a excepción de Quililla, que está en la cabecera de la cuenca. El impacto que predomina en las microcuencas hidrográficas es debido a la contaminación difusa que proviene de la agricultura (figura 6). La agricultura ocupa una superficie de 4,131.7 km² equivalente al 42 % del área de la cuenca (CONABIO, 2001b). Las microcuencas que tienen un mayor impacto por la extracción de agua subterránea se encuentran en el estado de Colima. Como ejemplo, es la extracción de agua subterránea de Armería para Manzanillo, este es un trasvase de la cuenca del Ayuquila-Armería a la cuenca del Río Marabasco (De la Mora, 2015).

Alteración ecohidrológica de la cuenca Ayuquila-Armería

La red fluvial, a pesar de tener el mayor peso (0.57) en la mayoría de las microcuencas con menor nivel de alteración, resulta con una suma menor a los otros dos sub-bloques. Por el contrario, en los de más impacto tiene una suma mayor (figura 7).

El grado de alteración ecohidrológica de la cuenca Ayuquila-Armería (figura 7), arroja que las zonas menos alteradas están a una mayor elevación y grado de pendiente de acuerdo con información cartográfica generada. En zonas con mayor elevación y grado de pendiente es más difícil el asentamiento humano. Por el contrario, en las partes bajas de la cuenca, la confluencia de los ríos aumenta la capacidad de almacenamiento y facilita las actividades productivas, por lo que aumentan los impactos en estas zonas (Cotler *et al.*, 2010). Impactos que tienen que ver con la contaminación de la calidad del agua del río, la infraestructura del río, y la extracción del agua subterránea para satisfacer las necesidades sociales.

En las microcuencas con algún nivel de alteración se ubican ríos de mayor orden de drenaje (6, 7 y 8). Las microcuencas de los ríos perennes Armería y Ayuquila se encuentran en un nivel "alto" de alteración. En éstas se encuentran las derivadoras: en el Ayuquila hay dos en el Corcovado para el distrito de riego 094; en el Armería se encuentran Jala

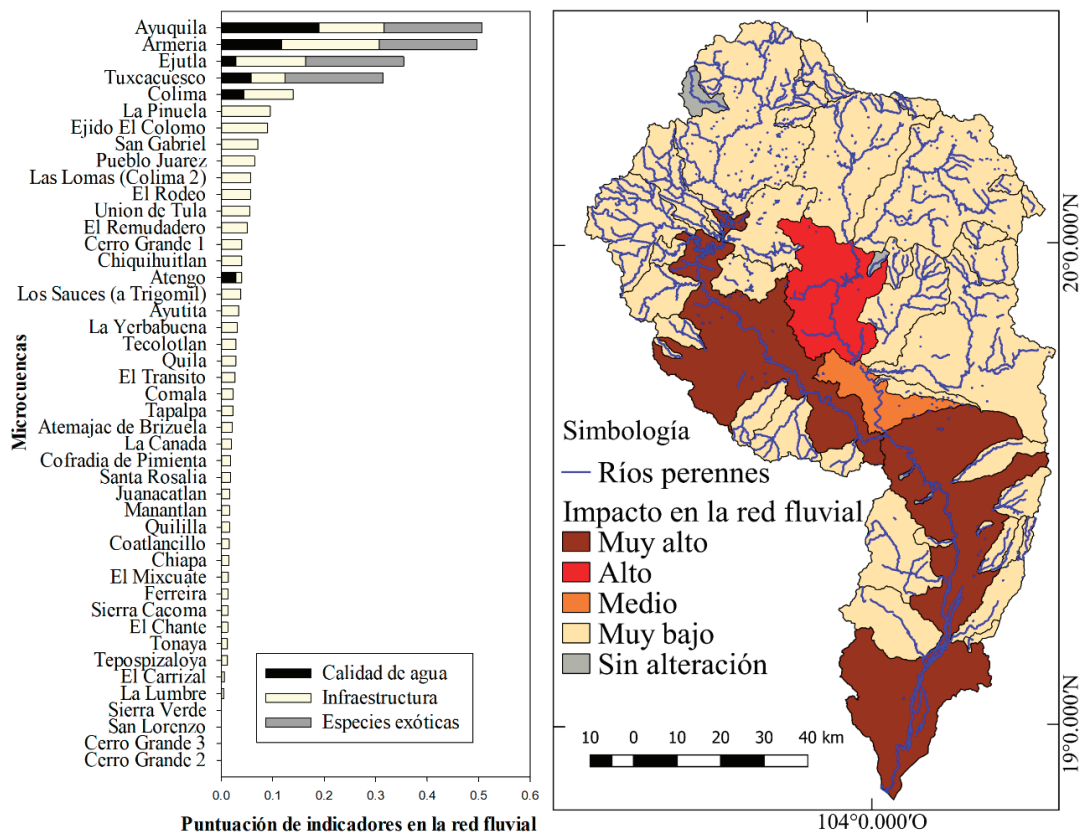


Figura 4. Indicadores y nivel de alteración en la red fluvial de las microcuencas del río Ayuquila-Armeria.
 Figure 4. Indicators and level of alteration in the fluvial network of the micro basins of the Ayuquila-Armeria river.

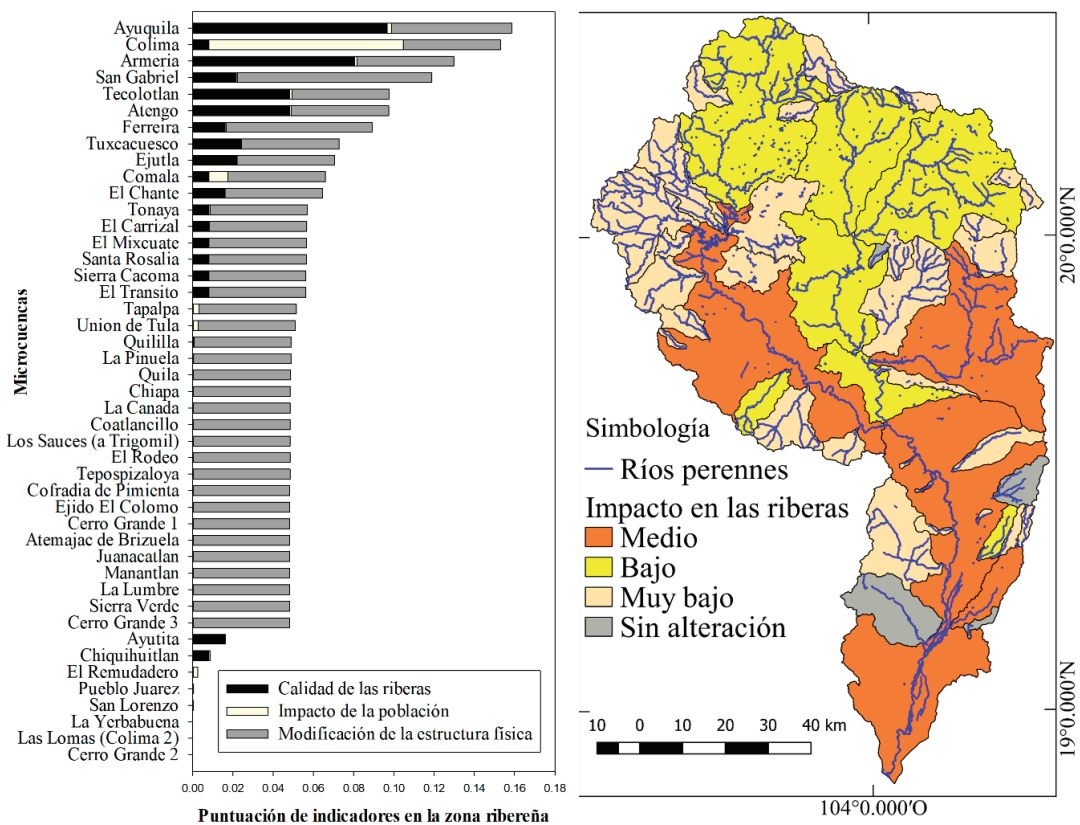


Figura 5. Indicadores y nivel de alteración en la zona ribereña de las microcuencas del río Ayuquila-Armeria.
 Figure 5. Indicators and level of alteration in the riverine area of the micro basins of the Ayuquila-Armeria river.

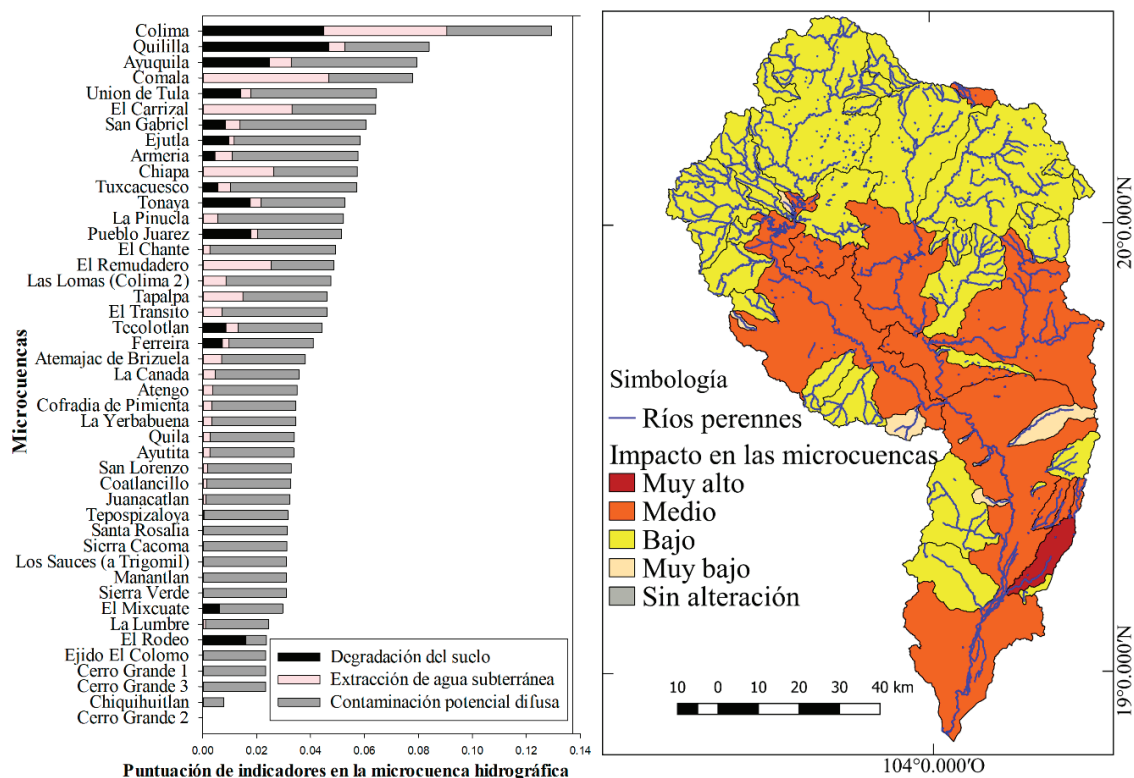


Figura 6. Indicadores y nivel de alteración en la sección de microcuencas hidrográficas del río Ayuquila-Armeria.
Figure 6. Indicators and level of alteration in the hydrographic micro-watershed section of the Ayuquila-Armeria river.

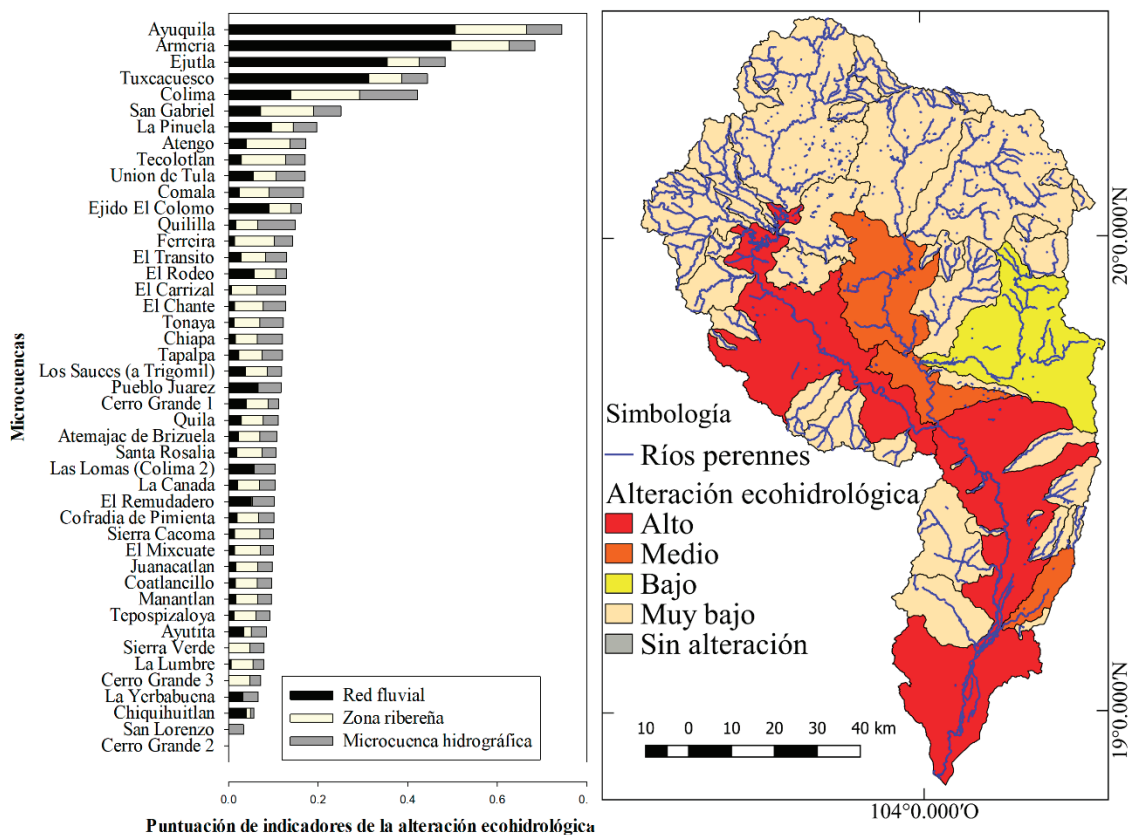


Figura 7. Relación de los sub-bloques y la alteración ecohidrológica de las microcuencas del río Ayuquila-Armeria.
Figure 7. Relation of the sub-blocks and the ecohydrological alteration of the micro-basins of the Ayuquila-Armeria river.

(Gregorio Torres Quintero), Peñitas, Colimán y Madrid para el distrito de riego 053. Las presas Tacotán y Trigomil controlan el flujo de la microcuenca Ayuquila. La presa Las Piedras (Basilio Vadillo) regula el flujo de la microcuenca Ejutla y la presa El Nogal regula el flujo de la microcuenca San Gabriel, estas microcuencas drenan hacia la microcuenca Tuxcacuesco, y estas tres microcuencas son las que le siguen de nivel de alteración “medio” y “bajo”.

En la tabla 3 se resume el número de microcuencas y el porcentaje de área que tienen los sub-bloques y el nivel de alteración.

DISCUSIÓN

Los tipos de impactos evaluados en el bloque de la red fluvial fueron a la calidad del agua, a la infraestructura del río y a la biodiversidad. La alteración por la infraestructura (presas, distritos de riego, derivadoras y caminos) del río es el impacto que está presente en el 91 % de las microcuencas. Una vez que los ríos son represados modifican la continuidad longitudinal del río y dejan de ser sistemas que enriquecen y sostienen la vida acuática. Las presas alteran los regímenes del flujo natural, la temperatura del agua, incrementan la capacidad erosiva del agua debajo de la presa. Dependiendo del orden del río puede tener impactos en las llanuras de inundación, lo que influye en vegetación ribereña, la disminución de microhábitats y afectaciones en los ciclos biológicos de especies acuáticas nativas (Kondolf, 1997; Ward, 1998; García de Jalón, 2008). En el caso de las derivadoras estas extraen el agua del río y lo regresan aguas abajo, segmentando el flujo del río a lo largo de todo el cauce hasta llegar al mar, evitando con esto el flujo de especies migratorias, el establecimiento de especies de peces e invertebrados acuáticos locales por la falta de agua y también afecta la vegetación ribereña (Meza *et al.*, 2017). Así mismo, la disminución del volumen incrementa la concentración de contaminantes que degrada el hábitat de todas las especies acuáticas.

Las alteraciones analizadas en el sub-bloque de la zona ribereña incluyen la calidad de las riberas, el impacto de la población y la modificación de la estructura física del hábitat ribereño. En esta última la erosión hídrica fue la modificación más relevante de las zonas ribereñas, siendo mayor

cuando el suelo está descubierto de vegetación, arrastrando las partículas del suelo y materia orgánica hacia los arroyos y ríos (INEGI, 2014). Esta erosión hídrica se puede ver asociada con las actividades agrícolas que se dan en zonas con pendiente en toda la cuenca al hacer un traslape cartográfico de ambos mapas.

Los impactos evaluados en el sub-bloque de la microcuenca hidrográfica fueron la degradación del suelo, la extracción de agua subterránea y la contaminación difusa. Estas tres variables están asociadas con las actividades agrícolas que se desarrollan dentro de la cuenca. El cultivo de maíz y la caña son los que predominan en el área de estudio con una superficie de 54,400 y 22,210 has respectivamente (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, [SIAP], 2017). Otros cultivos también relevantes son el agave con 4,700 has en Jalisco y arroz con 3,100 has en Colima, y con un avance muy importante en el crecimiento del cultivo del aguacate con una superficie reportada de 980 has en ambos estados (SIAP, 2017).

Las alteraciones causadas por la actividad agrícola en áreas de temporal están asociadas con las prácticas que son comunes en esta zona tales como, el uso de fuego y exceso de agroquímicos para el control de malezas y la siembra en laderas escarpadas que generan el arrastre de sedimentos, nutrientes y pesticidas en la época de lluvia. En las zonas de riego y principalmente en caña se utiliza también el fuego para la cosecha de esta, generando gran cantidad de cenizas que contaminan el ambiente y que son arrastradas por el agua de riego o la lluvia a los cauces naturales. Además, la quema de la caña daña la vegetación ribereña ya que se cultiva la caña hasta los márgenes del río, algunas veces la daña de manera parcial, pero en la mayoría de los casos la elimina.

En Jalisco, los municipios que tienen mayor superficie de huertas de aguacate son San Gabriel, Zapotitlán de Vadillo, Tapalpa y Chiquilistlán (Macías, 2010). Aun cuando este cultivo todavía no representa una superficie tan amplia como otros cultivos ya implica una serie de perturbaciones bastante relevantes que hay que tomar en cuenta. Requiere de gran cantidad de agua, que normalmente se utilizaba para poblaciones locales, reduciendo su disponibilidad; se utiliza una gran cantidad de insumos químicos, que en época de lluvias

Tabla 3. Nivel de los impactos en los sub-bloques y de la alteración ecohidrológica.

Table 3. Impact levels on the sub-blocks and the ecohydrological alteration.

| Impacto | Sub-bloques | | | | | | Alteración ecohidrológica | |
|----------------|-------------|------------|-----------|------------|----------------------------|------------|---------------------------|------------|
| | Red fluvial | | Riberas | | Microcuencas hidrográficas | | No. de Mc | % del área |
| | No. de Mc | % del área | No. de Mc | % del área | No. de Mc | % del área | | |
| Sin alteración | 4 | 0.7 | 5 | 3.4 | 1 | 0.03 | 1 | 0.03 |
| Muy Bajo | 37 | 62.7 | 29 | 25.9 | 6 | 1.87 | 38 | 54.44 |
| Bajo | 0 | 0 | 7 | 33.4 | 27 | 50 | 1 | 8.03 |
| Medio | 1 | 3 | 4 | 37.3 | 10 | 47.1 | 2 | 3.9 |
| Alto | 1 | 5.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 33.6 |
| Muy Alto | 2 | 28.3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |

Mc: microcuenca

contamina los cauces (Macías, 2010); se hace cambio de uso de suelo a partir de deforestación e incendios forestales principalmente en zonas boscosas para establecer el cultivo de aguacate (Meléndez, 2019; Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, [SEMADET], 2019). Un ejemplo de daño inmediato de algunos de estas perturbaciones tiene que ver con un gran alud extraordinario debido a la gran cantidad de sedimentos que transportó el río Salsipuedes, el cual inundó la cabecera municipal de San Gabriel, Jalisco, con decesos y daños a cerca de 3,000 habitantes (Serrano, 2019).

La actividad pecuaria, está estrechamente vinculada, aunque no fue evaluada en este estudio por no tener información sistematizada, es una importante fuente de perturbación en la red fluvial y las zonas ribereñas (Ortiz, 2015), ya que en temporada de secas el ganado pastorea en las zonas ribereñas compactando el suelo y afectando la regeneración de la vegetación. Además, consumiendo agua directamente en el río y descargando sus heces fecales en el cauce, generando un problema de contaminación por patógenos y parásitos que van en estos residuos (Herrero y Gil, 2008).

La agricultura protegida se ha incrementado dramáticamente en la zona más seca de la cuenca (Cih-Dzul *et al.*, 2011; Díaz-Muñoz, 2016) así como el cultivo de la uva (SIAP, 2017; El Informador, 2018), por lo que se debe considerar el desabasto de agua en un futuro por la sobre explotación de los acuíferos (Hernández-Juárez *et al.*, 2019) que ocasionan una competencia entre usuarios del agua, y puede impactar en el flujo base del río principal.

Este trabajo más detallado, difiere del nacional (Garrido *et al.*, 2010) puesto que solo el 33 % se encuentra en un nivel de alteración ecohidrológica "alto" y no toda la cuenca. También difiere en que estas microcuencas con un mayor grado de alteración ecohidrológica están afectadas por la modificación en la infraestructura de la red fluvial, donde las presas, las derivadoras y los distritos de riego se relacionan directamente con el rubro de la agricultura y no necesariamente coinciden donde está asentada la mayor cantidad de población.

CONCLUSIONES

Este estudio a mayor detalle que el análisis nacional desarrollado por Garrido *et al.*, (2010) pretende ayudar a los manejadores y tomadores de decisiones como la Comisión de Cuenca del Río Ayuquila Armería a ubicar las presiones que tienen mayor impacto en la calidad ecohidrológica de los ríos. Se precisa los indicadores con mayor impacto en cada sub-bloque (red fluvial, ribera y microcuenca hidrográfica) en cada una de las microcuencas, lo que resulta una guía para priorizar la atención.

El panorama de que más de la mitad de la cuenca se encuentre en un "muy bajo" nivel de alteración debe fungir como punto de partida para conservar estas áreas en estas condiciones y no hacer cambio de uso de suelo o dar más concesiones de extracción de aguas subterráneas para prevenir y evitar que degraden esta condición.

En las áreas con mayor alteración se recomienda im-

plementar políticas públicas más estrictas en el manejo de los agroquímicos requeridos para la agricultura para disminuir la contaminación en la calidad del agua por arrastres de sedimentos a cuerpos de agua o infiltraciones de contaminantes a los acuíferos. Por otro lado, también se recomienda fomentar la eficiencia de los métodos de riego para la agricultura y así disminuir la extracción del agua subterránea (Bunge, 2010; Barrón, 2017).

Se recomienda utilizar la determinación del caudal ecológico (Meza *et al.*, 2017) para la cuenca, ya que es importante porque asegura el régimen de flujo natural de caudales y la conectividad del ecosistema acuático impactando positivamente la red fluvial y la zona ribereña (Cotler *et al.*, 2010; Diario Oficial de la Federación [DOF], 2012).

Los ríos cuentan con una zona federal que considera de 5 a 10 metros de cada lado y hasta 20 metros en la desembocadura del río (DOF-24-03-2016). Sin embargo, se recomienda mantener o restaurar la zona ribereña con vegetación nativa acorde a las características de cada afluente o al menos un ancho de acuerdo con el área de inundación en condiciones naturales con la frecuencia mínima de ocho años (Mendoza *et al.*, 2014; Ortiz, 2015).

REFERENCIAS

- Barrón C.E. 2017. Producción sustentable de maíz. La aplicación de tecnología para el uso racional de los recursos. Asociación de usuarios productores agrícolas "Ruíz Cortínez» módulo II-2 AC. 103-106 pp. En SAGARPA. 2017. Innovar para Competir, 40 Casos de éxito. México.
- Bunge V. 2010. La presión hídrica en las cuencas de México. En Cotler A. H. 2010. Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Cih-Dzul, I.R., Jaramillo-Villanueva, J.L., Tornero-Campante, M.A. y Schwentesius-Rindermann, R. 2011. Caracterización de los sistemas de producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) En el estado de Jalisco, México. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 14: 501 – 512.
- CNA y Montgomery Watson. 2001. Estudio de la calidad del agua del río Ayuquila en una longitud de 240 km, en los estados de Jalisco y Colima. Comisión Nacional del Agua. CD-ROM. Diciembre.
- CONABIO. 2001. Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie II (continuo nacional). Portal de Geoinformación. [Consultado 13 Abril 2016] 2001. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Conagua. 2015a. Aprovechamientos subterráneos por estado. Sistema de Información Geográfica del Agua (SIGA) y Registro Público de Derechos de Agua (REPGA). [Consultado 12 Mayo 2017] 2015. <http://siga.conagua.gob.mx/REPGA/Menu/FrameKMZ.htm>
- Conagua. 2015b. Localizador REPA de aguas nacionales, zonas federales y descargas de aguas residuales. Subdirección General de Administración del Agua. [Consultado 23 Septiembre 2017] 2015. Disponible en: <https://sigagis.conagua.gob.mx/locrepda3/>
- Conagua. 2016. Distritos de riego 2014. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola. Gerencia de Unidades y Distritos de Riego.

- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V. y Böhner, J. 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015. [Consultado 7 Septiembre 2015] 2015. Disponible en: <http://www.saga-gis.org/en/index.html>
- Cotler, H. y Caire, G. 2009. Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México. Instituto Nacional de Ecología (INE), SEMARNAT, Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P., WWF, la Organización Mundial de Conservación.
- Cotler, H., A. Garrido, V. Bunge y M. L. Cuevas. 2010. Las cuencas hidrográficas de México: priorización y toma de decisiones. En Cotler A. H. 2010. Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- De la Mora, L.A. 2015. "Problemática de abasto de agua en Armería es un reto": Eusebio Mesina". Contexto Colima. [Consultado 1 Junio 2019] 2015. Disponible en: <http://contextocolima.com/index.php/home/nota/2359>
- Díaz-Muñoz, G. 2016. Ciudadanía y territorio. Paisajes de alternativas ciudadanas en el Sur de Jalisco. Complexus, saberes entretnejidos, Cuadernos de avances del Centro de Investigación y Formación Social. ITESO.
- DIRECTIVA 2000/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. 2000. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. 23 de octubre. L 327 22.12.2000.
- DOF. 2012. Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas, Diario Oficial de la Federación, México, 123 pp.
- DOF-24-03-2016. Ley de Aguas Nacionales. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios. México.
- El Informador 2018. Productores logran la primera cosecha de uva de mesa en Jalisco. Economía. [Consultado 4 Mayo 2019] 2018. Disponible en: <https://www.informador.mx/economia/Productores-logran-la-primera-cosecha-de-uva-de-mesa-en-Jalisco-20180504-0042.html>
- García de Jalón, D. 2008. La regulación de los caudales y su efecto en la biodiversidad. Expo Zaragoza 2008. Universidad Politécnica de Madrid.
- Garrido, P.A., Cuevas, M.L., Cotler, H., González D.I. y Tharme, R. 2010. Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. Investigación ambiental 2 (1): 25-46.
- Hernández-Juárez, R.A., Martínez-Rivera, L.M., Peñuela-Arévalo L.A. y Rivera-Reyes S. 2019. Gestión del agua subterránea en la cuenca del río Ayuquila-Armería. Región y Sociedad, vol. 31.
- Herrero M.A. y S. B. Gil. 2008. Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. Ecología Austral 18:273-289. Asociación Argentina de Ecología.
- INEGI. 2010a. Censo de Población y Vivienda 2010: Tabulados del Cuestionario Básico. [Consultado 18 Junio 2015] 2010. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/default.html#Tabulados>
- INEGI. 2010b. Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas 2.0. [Consultado 1 Julio 2015] 2010. Disponible en http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/
- INEGI. 2014. Erosión de suelos en México, escala 1: 250 000. Boletín de prensa Núm. 295/14 2014. INEGI, Aguascalientes, México.
- INEGI. 2016. Manchas urbanas y rurales, 2015, escala 1: 250 000. México.
- Kondolf, M. 1997. Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels. Environmental Management. Springer-Verlag New York Inc. Vol. 21, No. 4, pp. 533-551.
- Macías, M.A. 2010. Zonas hortofrutícolas emergentes en México ¿Viabilidad de largo plazo o coyuntura de corto plazo? La producción de aguacate en el sur de Jalisco. Estudios Sociales. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Número especial. Vol. 18, Núm. 36. 204-235pp.
- Martínez S.M., C. y J. A. Fernández Y. 2010. IAHRIS 2.2 Índices de Alteración Hidrológica en Ríos. Manual de usuario. Universidad Politécnica de Madrid.
- Meléndez, V. 2019. Aguacate, detrás de incendios en Región Sur de Jalisco. El Diario NTR. Periódico crítico. [Consultado 5 Julio 2019] 2019. Disponible en: https://www.ntrguadalajara.com/post.php?id_nota=126025
- Mendoza C.M., Quevedo N.A., Bravo V.A., Flores M.H., De la Isla de B.M. de L., Gavi R.F. y Zamora M.B.P. 2014. Estado ecológico de los ríos y vegetación ribereña en el contexto de la nueva Ley General de Aguas de México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 30, núm. 4, pp. 429-436. UNAM.
- Meybeck, M., Kumm, M. y Dürr, H.H. 2013. Global hydrobelts and hydroregions: improved reporting scale for wáter-related issues?. Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union.
- Meza-Rodríguez, D., Martínez-Rivera, L.M., Mercado-Silva, N., de Jalón-Lastra, D.G., del Tánago-Del Río, M.G., Marchamalo-Sacristán, M. y De la Mora-Orozco, C. 2017. Propuesta de caudal ecológico en la cuenca del Río Ayuquila-Armería en el Occidente de México. Lat. Am. J. Aquat. Res., 45(5): 1017-1030.
- Michel P., J. G., Gómez G., Hernández, Montañez V., Santamaría P., Rocha C., Estrada P., Olivares A., Ortiz G., Flores O. & Sánchez H. 2010. Monitoreo ictiológico, limnológico, pesquero y sanitario de la Presa Basilio Vadillo. IX Congreso Internacional y XV Nacional de Ciencias Ambientales. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Vol. 26.
- Miller, R.R. 2009. Peces dulceacuícolas de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Sociedad Ictiológica Mexicana A. C., El Colegio de la Frontera Sur y Consejo de los Peces del Desierto.
- NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems, and U.S./Japan ASTER Science Team (2009). ASTER Global Digital Elevation Model [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi: 10.5067/ASTER/ASTGTM.002. [Consultado 12 Febrero 2016] 2009. Disponible en: <https://search.earthdata.nasa.gov/search>
- Ortiz, A., C.I. 2015. Caracterización y evaluación del estado ecológico de la vegetación ribereña en el río Ayuquila-Armería, en el occidente de México. Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá. España.
- Puig, I.A., Ruza, R.J., Xuclá, L.R.S. y Sánchez, M.F.J. 2006. Manual para la identificación de las presiones y análisis del impacto en aguas superficiales. Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad. España.
- Rodríguez C.F.E., L.M. Martínez R. y C. Palomera G. (2017). Contextualización socioambiental del agave en Tonaya, Jalisco, México. Región y sociedad. No. 70. Vol. 29.

- SCT. 2012. Red de vías de comunicación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Escala 1: 250000. En Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- SEMADET. 2019. Incendios forestales. Gobierno del estado de Jalisco. [Consultado 20 Mayo 2019] 2019. Disponible en: <http://siga.jalisco.gob.mx/webincendios/>
- SEMARNAT. 2011. ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de la subregión hidrológica Río Armería de la región hidrológica número 16 Armería-Coahuayana. Diario Oficial de la Federación. [Consultado 31 Mayo 2016] 2011. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5280549
- Serrano, J.I. 2019. Dan a conocer avances sobre las causas del alud que azotó a San Gabriel. Extensión. Noticias. Universidad de Guadalajara.
- SIAP. 2017. Datos abiertos. Estadística de Producción Agrícola. [Consultado 14 Mayo 2019] 2017. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Sun, G., D. Hallema y H. Asbjornsen. 2017. Ecohydrological processes and ecosystem services in the Anthropocene: a review. *Ecological Processes* 6:35.
- UNESCO. 2017. Water Security. Hydrology (IHP). Ecohydrology. [Consultado 21 Abril 2016] 2017. Disponible en: <https://en.unesco.org/themes/water-security/hydrology/ecohydrology>
- Ward, J.V. 1998. Riverine landscapes: biodiversity patterns, disturbance regimens, and aquatic conservation. *Biological Conservation*. Vol. 83, No. 3. Pp. 269-278. Elsevier.