



**Colección Manantlán**

# **Los corredores ribereños en la cuenca del río Ayuquila-Armería en México**

## **Vegetación ribereña y calidad de las riberas**

Claudia Irene Ortiz Arrona

# Los corredores ribereños en la cuenca del río Ayuquila-Armería en México

Vegetación ribereña y calidad de las riberas

Claudia Irene Ortiz Arrona

Colección Manantlán



Universidad  
de Guadalajara

Centro Universitario de la Costa Sur

CUCOSTA SUR  
GRANA ●

© Claudia Irene Ortiz Arrona, fotógrafa.

Primera edición, 2019

D.R. © Universidad de Guadalajara  
Centro Universitario de la Costa Sur  
Av. Independencia Nacional Núm. 151  
Autlán de Navarro, Jalisco, México, C. P. 48900

ISBN: 978-607-547-548-6

D.R. © Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, traducida, almacenada o transmitida de forma alguna, ni por ningún medio, ya sea electrónico, químico, mecánico, óptico, de grabación o de fotocopia, sin permiso previo de los editores.

Impreso y hecho en México / *Printed and made in Mexico*

# Índice

Agradecimientos	11
Prólogo	13
<i>Luis Manuel Martínez Rivera</i>	
Prólogo	15
<i>Oscar Gabriel Ponce Martínez</i>	
Introducción	17
Caracterización de la red fluvial de la cuenca del río Ayuquila-Armería: una propuesta metodológica	27
La vegetación ribereña en la cuenca del río Ayuquila-Armería	75
El estado ecológico de las riberas del río Ayuquila-Armería	115
Conclusiones finales	143
Alternativas de conservación, manejo y restauración de los ecosistemas ribereños en la cuenca del río Ayuquila-Armería	147
Literatura citada	153

«Muy abajo el río corre mullendo sus aguas entre sabinos florecidos; meciendo su espesa corriente en silencio. Camina y da vueltas sobre sí mismo. Va y viene como una serpentina enroscada sobre la tierra verde. No hace ruido.»

«El hombre encontró la línea del río por el color amarillo de los sabinos. No lo oía.»

JUAN RULFO, *El llano en llamas*

# Agradecimientos

Agradezco al Centro Universitario de la Costa Sur (CU Costa Sur) de la Universidad de Guadalajara el apoyo necesario para desarrollar mi línea de investigación en el área de ecología y restauración de bosques ribereños en la cuenca del río Ayuquila-Armería, que inicié antes de mi doctorado y continúo desarrollando como investigadora en el Departamento de Ecología y Recursos Naturales, ampliando la región de estudio a las cuencas costeras de Jalisco.

Este libro contiene gran parte de los resultados de mi investigación doctoral y mis experiencias de trabajo en la cuenca del río Ayuquila-Armería. Mi especial agradecimiento al Dr. Diego García de Jalón y a la Dra. Marta González del Tánago por su valiosa guía, conocimientos y experiencias académicas sobre la ecología y restauración de ríos y riberas durante mi investigación doctoral en la Universidad Politécnica de Madrid, España.

Agradezco el financiamiento de la Beca Promep-SEP a través del CU Costa Sur para realizar mis estudios de doctorado. Otros fondos obtenidos a través del Programa de Cooperación Interuniversitaria e Investigación Científica de la AECID-España A/019490/08 y el Programa de Colaboración Científica SERELAREFA/FP7-PEOPLE-2009-IRSES-No. 247522, financiado por la Unión Europea, fueron importantes para facilitar mi movilidad académica y trabajo de campo en diversas etapas de la investigación.

Mi agradecimiento también al botánico M. C. Francisco Santana Michel por su invaluable apoyo con la identificación de las especies de plantas ribereñas que se enlistan en esta publicación, y el entusiasmo florístico que siempre tuvo con este tipo de vegetación.

Agradezco las valiosas observaciones aportadas por la Dra. Francisca C. Aguiar (Instituto Superior de Agronomía, Universidade de Lisboa, Portugal) y la Dra. Dulce Infante Mata (El Colegio de la Frontera Sur [Ecosur], México), quienes fungieron como dictaminadoras externas de este libro. Finalmente, agradezco el interés del Comité Editorial del CU Costa Sur por la difusión

de temas estratégicos como son los ríos y corredores ribereños, y los grandes desafíos que enfrentamos para su conservación y restauración ecológica.

# Prólogo

Luis Manuel Martínez Rivera  
Departamento de Ecología y Recursos Naturales  
Centro Universitario de la Costa Sur  
Universidad de Guadalajara

Este libro que tienes en tus manos representa un trabajo de investigación doctoral de varios años sobre los ríos y arroyos de la cuenca del río Ayuquila-Armería, buscando generar información científica que permita entender su valor desde el punto de vista ecológico, de sus servicios ambientales y de su diversidad en términos de vegetación ribereña. La del río Ayuquila-Armería es una muy importante cuenca del occidente de México y del Pacífico mexicano. Dentro de sus cerca de 10 000 km<sup>2</sup>, alberga una gran cantidad de recursos naturales, dentro de los cuales está diez por ciento de su superficie, compuesto por áreas naturales protegidas; resaltan entre estas la reserva de la biósfera Sierra de Manantlán y el parque nacional Nevado de Colima. Sus aguas albergan gran cantidad de biodiversidad, con cerca de 30 especies de peces, con especies nativas y endémicas como los chacales o camarones de río y un importante mamífero: la nutria o perro de agua, una especie amenazada que nada y pesca en sus aguas. Gran cantidad de aves vuelan y se desplazan por sus corredores ribereños, sobresaliendo entre estas el marín pescador, que se encuentra a lo largo de casi todos los 300 km del río. La fauna silvestre baja para tomar de sus aguas, principalmente en periodo de estiaje, donde en la parte alta escasea el vital líquido. Sus aguas además irrigan cientos de hectáreas de cultivos de Jalisco y Colima y son fuente de desarrollo económico y social de los dos estados. De aquí la importancia de conocer sus arroyos, sus ríos, el hábitat que mantiene toda esta biodiversidad, la vegetación ribereña que sirve como interfase entre la tierra y el agua y que provee sombra, oxígeno, materia orgánica y alimento.

El nivel de detalle realizado en esta investigación no se encuentra en las de muchas cuencas del país. Inicia realizando una caracterización y clasifi-



cación jerárquica de la red fluvial, utilizando las características geomorfológicas e hidrológicas que diferencian los arroyos de montaña, de piedemonte, valles intermontanos y los grandes valles ubicados en la desembocadura. Esta sección nos permite comprender la variación de la geomorfología fluvial como una respuesta a sus escurrimientos sobre diferentes tipos de geología. Entender esto es uno de los componentes básicos para conocer la dinámica ecológica del río. La segunda parte de este libro explica cómo las variables ambientales como régimen hidrológico, la pendiente, la altitud y el tipo de sustrato del río son elementos fundamentales para definir la vegetación dominante de estos espacios ribereños. Conocer la vegetación y los espacios físicos en donde se desarrolla no solo nos permite conocer la riqueza y diversidad de plantas leñosas, así como sus asociaciones sino que nos da la pauta para reconocer los espacios físicos que están degradados; pero también aquellos que aún presentan un importante grado de conservación y que son una fuente de referencia en la restauración de la vegetación en tramos específicos del río. En la tercera parte de este libro, la autora hace una integración de las características hidrogeomorfológicas con la vegetación ribereña, para que aunado a otras características de los hábitats acuáticos del río, se evalúe el estado de integridad ecológica de las riberas. Se encontró que la mayor parte es de regular a bueno, pero con una cuarta parte de los segmentos de río en condiciones muy malas. Además, aunque hay un importante número de especies leñosas, solo tres especies son las dominantes en el 67 por ciento de los tramos de río estudiados.

Los resultados encontrados en esta investigación son una importante aportación al conocimiento de los corredores ribereños de la cuenca del río Ayuquila-Armería y nos permiten, de manera espacial encontrar los sitios que es necesario proteger, así como también aquellos que necesitan atención por su alto nivel de perturbación. También son de ayuda para tener un conocimiento de las especies que tenemos que reproducir y que den la pauta para que los municipios, en sus programas anuales de reforestación, atiendan estos espacios basados en resultados de investigación científica.

Los ríos son vida, y la investigación científica que se realice sobre ellos ayuda a mantenerlos vivos.

# Prólogo

Oscar Gabriel Ponce Martínez  
Director de la Junta Intermunicipal  
para la Gestión Integral de la Cuenca Baja  
del Río Ayuquila (JIRA)

México presenta una severa crisis de agua que se ha incrementado por la sobreexplotación, contaminación y degradación de nuestros ecosistemas. La gestión de los recursos hídricos se ha convertido en una de las principales preocupaciones para asegurar la calidad de vida y desarrollo económico de la población, y al igual que en otras partes del país, estos problemas no son ajenos a la cuenca del río Ayuquila-Armería, la cual, a pesar del avance obtenido en los últimos años, ha estado sometida a una fuerte dinámica de transformación y degradación de los recursos naturales desde hace más de cuarenta años, como descargas de aguas residuales, aporte de aguas negras provenientes de las zonas urbanas, desecamiento por desvío para el riego y deforestación de la vegetación ribereña.

Una frase que he corroborado a lo largo de estos años de trabajo en el sector ambiental en México es que «no se puede cuidar lo que no se ama, y no se puede amar lo que no se conoce». Tenemos que hacer énfasis en el entendimiento y dinámica de los ecosistemas fluviales, y sobre todo, el involucramiento y vínculo de la sociedad con tomadores de decisiones; ya que, históricamente, hemos sido parte del problema, y tenemos que ser parte de la solución. Si no incluimos estos aspectos, será muy difícil la generación de estrategias de gestión para la protección y manejo de los recursos naturales.

El ejercicio de la gobernanza es unas de las tareas que debemos fortalecer en el ámbito regional para consolidar este vínculo entre sociedad y Gobierno para la toma de decisiones; en la medida en que nos involucramos y acordamos de manera colectiva el desarrollo sustentable del territorio. Entre actores clave, sociedad y Gobierno, podremos ejercer nuestros derechos,

obligaciones, y nuestros puntos de vista hacia el manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales con los que contamos.

El proceso llevado a cabo desde la Iniciativa Intermunicipal para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila (IIGICRA), hasta la hoy consolidada Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja de Río Ayuquila (JIRA) es un proceso ejemplar para el ejercicio de la gobernanza, en donde los municipios, dependencias federales y estatales, el ámbito académico y de investigación del estado de Jalisco y organizaciones no gubernamentales se organizan para enfrentar conjuntamente la problemática ambiental de la cuenca bajo un enfoque innovador de cooperación intermunicipal.

El presente libro nos brinda una excelente aportación en este sentido: contribuye a la generación de conocimiento aplicable a la conservación, protección y restauración de los corredores ribereños de la cuenca del río Ayuquila-Armería. Además, fue escrito por la investigadora, que por su trayectoria y trabajo en la región, se ha vinculado con los procesos de gobernanza y toma de decisiones, y sobre todo, conoce de primera mano las problemáticas ambientales. Este libro se ilustra de forma estupenda con fotografías y gráficas de buena calidad, lo que abona al mejor entendimiento, no solo para actores del ámbito académico, si no para servidores públicos y sociedad en general.

Para instituciones como JIRA es muy oportuno que la doctora Claudia Ortiz haya presentado este importante libro. Los resultados aportan conocimiento relevante acerca de la tipología hidromorfológica de la red fluvial de la cuenca del Ayuquila-Armería, la composición, estructura y dinámica de la vegetación ribereña, así como de los factores que influyen en las asociaciones de vegetación ribereña en la cuenca. Además, la investigación aporta una valoración del estado ecológico que presentan las riberas, fundamentado en atributos de la estructura y el funcionamiento dinámico del río, a partir de metodologías con enfoque hidromorfológico y de calidad de las riberas.

Finalmente, considero que este libro constituye una valiosa herramienta, tanto para fines académicos, como para tomadores de decisiones de los sectores gubernamental y privados. Esta información, en conjunto con la finalización del Plan de Acción para la Gestión Integral en la Cuenca del Río Ayuquila-Armería 2018-2021, nos brinda elementos para la estructuración de una estrategia a largo plazo; priorizando acciones de restauración y manejo dentro de la cuenca bajo el ejercicio de gobernanza, fomentado un proceso participativo.

# Introducción

Los ríos son corredores naturales de enorme importancia hidrológica y ecológica en el paisaje (Naiman *et al.* 2005). Por sus cauces fluyen corrientes de agua, gran cantidad de sedimentos y nutrientes, y en ellos se establecen numerosas comunidades biológicas que mantienen interrelaciones muy diversas con el medio físico, incluyendo las zonas riparias. Además de su papel en la conservación de la biodiversidad, los ríos y riberas aportan muchos bienes y servicios a la sociedad. Para empezar, son fuente de agua y alimento para el consumo humano y constituyen espacios para la recreación y esparcimiento (Postel y Carpenter 1997). Además, las riberas se consideran zonas productivas por la acumulación de nutrientes y humedad, y la vegetación ribereña tiene funciones importantes en el filtrado de sedimentos y contaminantes que son arrastrados desde las partes altas de la cuenca por los ríos, y en la mitigación del impacto de las inundaciones (Postel y Richter 2003, Naiman *et al.* 2005). Es así que las riberas son importantes desde el punto de vista de la gestión de los ríos, suponiendo que su estado ecológico afecta a muchos de estos bienes y servicios ambientales (Suárez *et al.* 2002).

A escala global, los ecosistemas fluviales son de los más amenazados en el planeta debido a las extracciones de agua, la regulación de los caudales naturales, sedimentos y nutrientes, y la contaminación (Millenium Ecosystem Assessment 2005, Chaney *et al.* 1990, Suárez *et al.* 2002). En México, la pérdida de los ecosistemas ribereños es uno de los principales problemas que afectan a las cuencas hidrográficas, además de las presiones del almacenamiento del agua en presas, la sobre explotación de acuíferos y la contaminación de los ríos (Cotler y Caire 2009).

El avance en la generación de conocimientos acerca del conjunto de procesos de los que depende la dinámica de los ecosistemas fluviales y de aquellas presiones que propician su degradación es necesario para sentar las bases científicas de estrategias de conservación, manejo y restauración ecológica (Cervantes *et al.* 2008). El entendimiento de la ecología del ecosistema flu-

vial requiere conocer los procesos físicos y gran variabilidad de factores responsables de sus características estructurales y su dinámica en el espacio y en el tiempo (Petts 2000). Los ríos son dependientes de su cuenca vertiente y las comunidades de flora y fauna están determinadas por una serie de factores que actúan de forma jerárquica y a diferentes niveles (Frissell y Bayles 1996): clima, geología, topografía, tamaño de la cuenca y los procesos hidrológicos y geomorfológicos en sus correspondientes escalas espaciales desde la región fisiográfica, pasando por la cuenca hidrográfica, la red fluvial, el segmento fluvial, el tramo del río y el hábitat (Snelder y Biggs 2002). Así mismo, el funcionamiento ecológico de los ríos debe ser analizado a través de sus tres dimensiones espaciales. Longitudinalmente, los corredores fluviales pueden interpretarse como sistemas continuos, desde su nacimiento hasta su desembocadura, que integran los numerosos y diferentes tipos de hábitat a lo largo de su recorrido. Transversalmente, los ríos abarcan la zona riparia y la llanura de inundación que se conectan con el cauce durante las inundaciones (Junk *et al.* 1989). La dimensión vertical tiene lugar en el sustrato permeable del lecho del cauce, donde se produce una serie de flujos subsuperficiales y subterráneos con los acuíferos (Stanford y Ward 1988). El entendimiento de la complejidad, dinamismo y multidimensionalidad de los ecosistemas fluviales son aspectos fundamentales para el desarrollo de estrategias de gestión y restauración fluvial (Doppelt *et al.* 1993, Williams *et al.* 1997, entre otros).

Es en este contexto que este libro contribuye a la generación de conocimiento aplicable a la conservación, protección y restauración de los corredores ribereños en la región del occidente de México. Los resultados de este estudio permitirán identificar comunidades de vegetación ribereña en buen estado de conservación y de fundamental importancia como zonas de referencia y poblaciones de especies de vegetación vulnerables y de interés para la conservación y restauración de los hábitats ribereños en la cuenca del río Ayuquila-Armería. Además, pretende aportar conocimiento científico sobre la ecología de los ecosistemas ribereños en México, cuyo estudio ha estado bastante rezagado en nuestro país, a pesar del profundo deterioro que enfrentan estos ecosistemas.

El libro está organizado en cinco capítulos. En el capítulo 1 se describe un marco general del ecosistema fluvial; los ríos y sus riberas. En el capítulo 2, se presenta una propuesta de caracterización y clasificación de las tipolo-

gías de los ríos y arroyos de la cuenca de estudio, basada en las características hidrológicas y geomorfológicas de las cuencas vertientes y los segmentos fluviales. En el capítulo 3 se desarrolla la caracterización de la composición y estructura de la vegetación ribereña que configura los corredores ribereños en los ríos y arroyos de la cuenca de estudio. El capítulo 4 se enfoca al tema de la valoración del estado de las riberas con una herramienta metodológica que toma en cuenta los factores hidrogeomorfológicos fundamentales para entender la dinámica de las riberas. Finalmente, en el capítulo 5 se aborda una discusión general de los alcances y limitantes de los resultados que aporta la investigación y las conclusiones más relevantes. En una sección final, se plantean recomendaciones de manejo enfocadas a la conservación, protección y restauración de los corredores de vegetación ribereña del río Ayuquila-Armería.

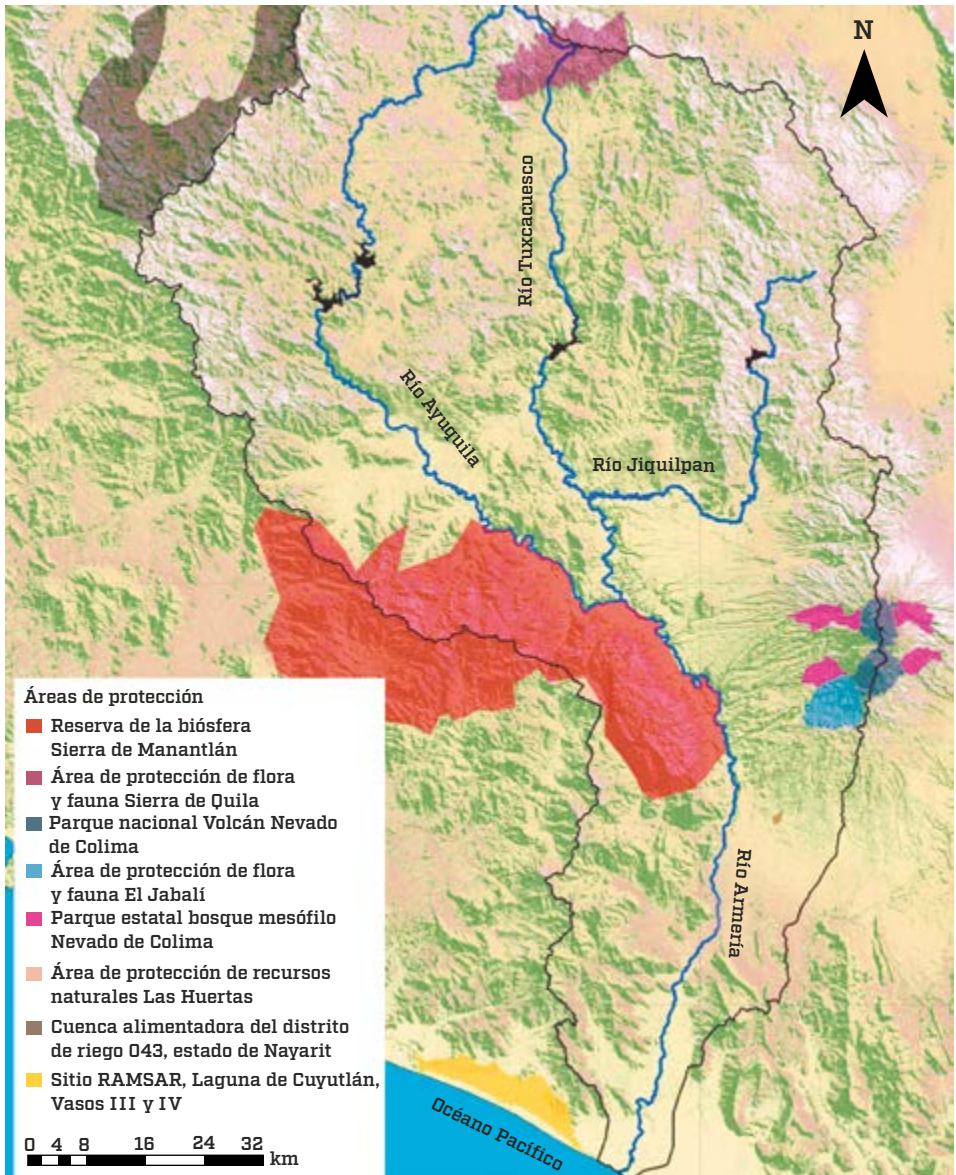
La principal motivación para la publicación de este libro es la utilidad de la información para todos aquellos que trabajan o se relacionan con acciones de conservación, protección y restauración de los ríos y las riberas, o a quienes, sin dedicarse a su estudio, les interesa la conservación de ríos y riberas saludables y de sus valiosos beneficios ambientales y sociales.

## La cuenca del río Ayuquila-Armería

### *Descripción e importancia*

La cuenca del río Ayuquila-Armería se encuentra entre los estados de Jalisco y Colima en las coordenadas geográficas 18° 51' 05.868" a 20° 28' 03.36" de latitud Norte y 104° 38' 17.123" a 103° 34' 41.880" de longitud oeste, en la vertiente del Pacífico mexicano (mapa 1.1). Pertenece a la región hidrológica administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico (Conagua 2012) y a la región hidrológica RH16 Armería-Coahuayana (Conabio 1999). Esta cuenca se forma por la unión de las subcuencas de los ríos Ayuquila, Tuxcacuesco y Armería, y tiene una superficie de 9 803 km<sup>2</sup> y es de tipo exorreica, con caudales promedio de 30.4 m<sup>3</sup>/s (Meza 2006). Limita al norte con la reserva de la biósfera Sierra de Manantlán, un área protegida de la red MAB-UNESCO, de gran interés para la conservación de la biodiversidad que alberga esta región (mapa 1.1).

**Mapa 1.1:** Cuenca del río Ayuquila-Armería y las áreas naturales protegidas ubicadas en ella



Fuente: Elaborado por Demetrio Meza Rodríguez.

El río Ayuquila nace al norte de la cuenca en la Sierra de Quila, en el estado de Jalisco, y a partir de su confluencia con el río Tuxcacuesco, que nace en Tapalpa, poco antes de ingresar al estado de Colima, toma el nombre de río Armería. El río Ayuquila-Armería, es el río de mayor longitud para Colima y el tercero para Jalisco; entre las corrientes tributarias más importantes se encuentran San Juan Cacoma, Manantlán y La Yerbabuena, Jiquilpan, Tapalpa, San Miguel, Agua Zarca, El Chino y Charco Verde (Meza 2006).

Desde el punto de vista fisiográfico, la cuenca del río Ayuquila-Armería se ubica en la confluencia de las provincias del Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur, una región con gran heterogeneidad de clima, geología y topografía (Inegi 2009). La geología predominante es de origen volcánico y sedimentario (Inegi 2009) y presenta una gran heterogeneidad en las formas del relieve: desde zonas llanas hasta zonas muy escarpadas, mostrando una pendiente media de 26.6 por ciento. Es una cuenca bien drenada de orden ocho (según la clasificación de Strahler 1974). El clima en la región es tropical cálido subhúmedo, aunque en las zonas más altas el clima es templado subhúmedo, con una definición clara entre la estación lluviosa en verano (entre junio y octubre) y la estación seca el resto del año (Conabio 1999). La precipitación promedio anual es de 1 272 mm y la temperatura promedio anual es de 22.8 °C (Conagua 2012).

La elevación media de la cuenca es de aproximadamente 1 382 m s. n. m. (Meza 2006), con un amplio rango altitudinal desde la desembocadura del río en el océano Pacífico hasta aproximadamente 3 000 m s. n. m. (en la región de la Sierra de Tapalpa y Sierra de Manantlán). Dentro de la cuenca se localiza el Volcán de Fuego con 3 829 m s. n. m. que junto con el Nevado de Colima con 4 260 m s. n. m., tiene las elevaciones más altas para Jalisco y Colima (véase mapa 1.1).

En la zona de cabecera de condiciones montañosas en altitudes mayores a 2 000 m, el río Ayuquila tiene pendientes altas (superiores al 4 %); después de un recorrido de aproximadamente 100 km, llega a la presa Tacotán (capacidad de 165 500 000 m<sup>3</sup>, construido en 1959), y kilómetros más abajo, a la presa Trigomil (con capacidad de 234 000 000 m<sup>3</sup>, en función desde 1994). Aguas abajo de las presas, el río entra a un cañón por el que continúa por aproximadamente 20 km hasta alcanzar nuevamente la entrada a un valle abierto donde se encuentra la presa derivadora que conduce el agua del río a los canales de riego en el valle agrícola de Autlán y El Grullo, ubicándose

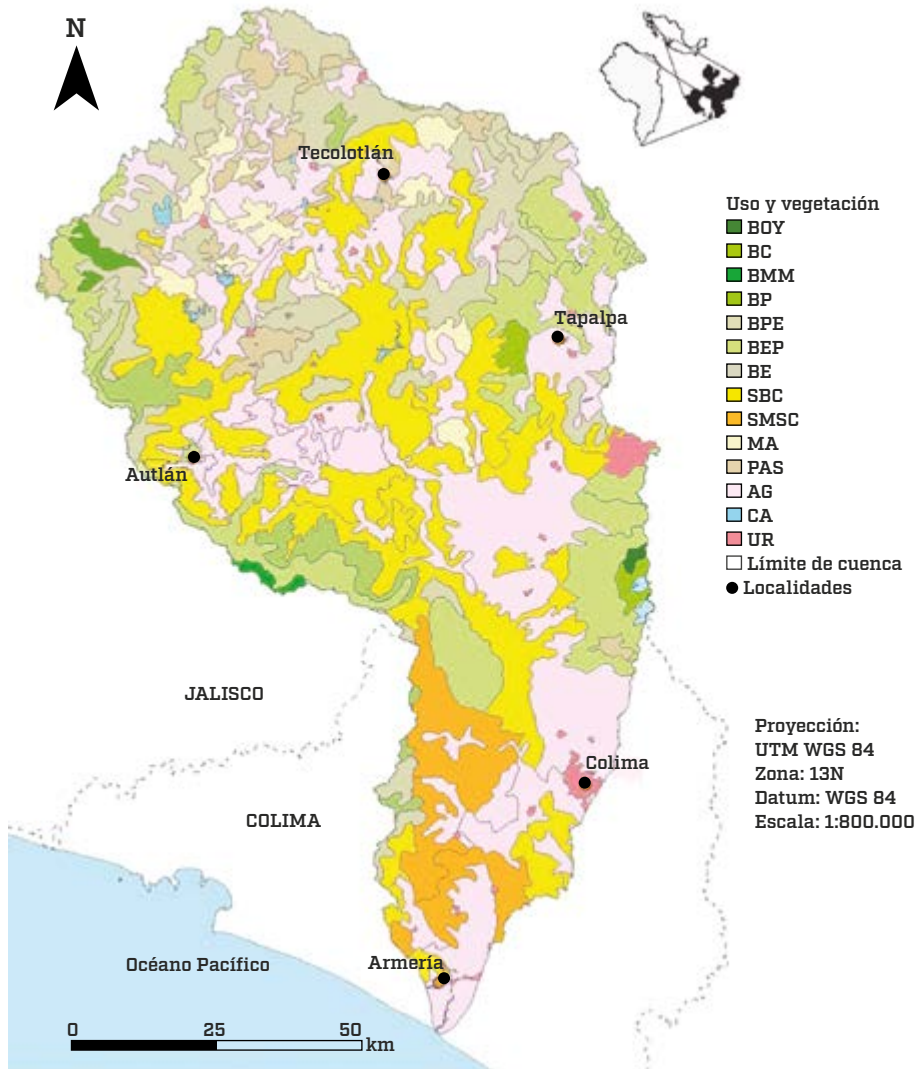


en la zona media de la cuenca, donde predominan pendientes más bajas (con valores de 1 % aproximadamente). Pasando el valle, el río continúa su recorrido por aproximadamente 70 km a través de una serie de pequeños valles y cañones, hasta la localidad de Paso Real, donde confluye con el río Tuxcacuesco para formar el río Armería, hasta su desembocadura.

La cuenca abarca 21 municipios pertenecientes al estado de Jalisco y 8 a Colima. El 1 por ciento de la superficie de la cuenca está ocupado por asentamientos humanos, con una población de aproximadamente 480 mil habitantes (Cotler y Caire 2009). El 79 por ciento de su población vive en zonas urbanas y 21% en zonas rurales, siendo las ciudades más importantes; Autlán, El Grullo, Unión de Tula y Colima (Gerritsen *et al.* 2005, Cotler y Caire 2009). Las actividades económicas más importantes son la agricultura comercial y de subsistencia, industria azucarera, pesca, minería y actividad forestal (Cotler y Caire 2009). El uso agrícola ocupa el 32% de la superficie de la cuenca y se concentra en las partes bajas de la cuenca, en el valle de Autlán-El Grullo (Jalisco) y en los Distritos de Riego de Peñitas y Tecomán (Colima), siendo los cultivos principales el melón, el jitomate, el agave y el chile, pero por sus rendimientos económicos, el principal cultivo es la caña de azúcar. Mientras que, el 13 por ciento de la superficie presenta pastizales inducidos y cultivados como resultado de actividades pecuarias que se practican de forma extensiva en la región (Cotler y Caire 2009) (mapa 1.2).

La heterogeneidad ambiental y el amplio rango altitudinal de la cuenca favorecen una marcada zonificación de la vegetación en la cuenca del río Ayuquila-Armería. Se estima que el 52 por ciento del territorio de la cuenca está cubierto por diversos tipos de bosques (Cotler y Caire 2009). De acuerdo con la clasificación propuesta por Rzedowski (1978), se distinguen los siguientes tipos: Bosques tropicales caducifolios y subcaducifolios, distribuidos en la porción baja y media de la cuenca, desde los 400 hasta los 1 700 m de altitud. Los bosques de *Pinus* se ubican arriba de los 800 m, donde se mezclan con especies de encinos caducifolios (del género *Quercus*) y al ascender a lugares más húmedos, entre los 1 800 y 2 800 m, se presentan con más continuidad. Los rodales de *Quercus* subcaducifolios se desarrollan en altitudes arriba de los 1 500 m. El bosque mesófilo de montaña y los bosques de *Abies* habitan en los sitios más húmedos de cañadas protegidas, desde los 700 a los 2 600 m, mientras que en áreas más expuestas, como cimas de montaña y lomas, se encuentran rodales de *Cupressus*. Otras comunidades de vegeta-

**Mapa 1.2:** Uso y vegetación de la cuenca Ayuquila-Armería



**Tipos:** BOY: bosque de oyamel, BC: bosque de ciprés, BMM: bosque mesófilo de montaña, BP: bosque de pino, BPE: bosque de pino-encino, BEP: bosque de encino-pino, BE: bosque de encino, SBC: selva baja caducifolia, SMSC: selva mediana subcaducifolia, MA: matorral, PAS: pastizal, AG: agricultura, CA: cuerpos de agua, UR: zona urbana. **Fuente:** INEGI, Serie IV del Inventario Nacional Forestal, 2007.

ción las conforman los bosques de galería y matorrales espinoso (Vázquez *et al.* 1995) (mapa 1.2). Además de su alta biodiversidad y endemismos, entre los que destaca *Zea diploperennis*, una especie vegetal endémica y reconocida como ancestro del maíz actual (Vázquez *et al.* 1995), estos bosques proveen importantes recursos forestales maderables y no maderables a los pobladores de la cuenca.

Además de la diversidad de flora y vegetación, la cuenca del río Ayuquila-Armería alberga diversidad faunística de gran interés científico; se encuentran 39 especies de peces, entre las cuales se encuentra *Ilyodon furcidens*, de la familia de los goodeidos, un grupo endémico del centro de México. Entre las especies de crustáceos se puede citar al *Macrobrachium occidentale*, conocido regionalmente como «chacal» o «langostino de río», una especie de interés económico y endémico para el estado de Jalisco. En cuanto a las aves ribereñas, Cruz (2007) reporta para el río Ayuquila cuatro de las cinco especies de martín pescador descritas para México, entre las que se encuentran *Ceryle alcyon* y *C. torquata*, especies reconocidas como indicadoras de la buena calidad del hábitat en el río Ayuquila. Otra especie de interés en el río Ayuquila es la nutria (*Lontra longicaudis*), una especie protegida por la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010) que se alimenta principalmente de peces y crustáceos y se adapta a las alteraciones del hábitat en el río (Ibarra e Iñiguez 2011).

### ***Contexto de la degradación del río Ayuquila***

La cuenca del río Ayuquila-Armería ha estado sometida a una fuerte dinámica de transformación y degradación de los recursos naturales desde los años sesenta, con la construcción de las presas de Tacotán (1959), Las Piedras (1973) y Trigomil (1993) en la parte alta de la cuenca, sobre los ríos Ayuquila y Tuxcacuesco. A pesar de los avances obtenidos por las diferentes organizaciones como la JIRA (Junta Intermunicipal del Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila, creada en 2002) que integra a diez municipios de la cuenca y la Universidad de Guadalajara (Martínez *et al.* 2005), aún prevalecen diversos problemas ambientales en la cuenca, principalmente el tema de la contaminación del agua del río por las descargas de aguas residuales municipales. El aporte de agroquímicos altamente tóxicos contenidos en las aguas de retorno agrícola es una fuente de contaminación importante (Palomera 2012). Por otro lado, se ob-

serva un fuerte proceso de azolvamiento o colmatación de cuerpos de agua, presas, cauces, redes de distribución y drenaje, causados por la erosión hídrica por la pérdida de cubierta forestal en montañas y laderas (deforestación y fragmentación de la vegetación) (Cotler y Caire 2009), así como la pérdida y fragmentación de los corredores de vegetación ribereña (Santana *et al.* 1993, Martínez *et al.* 2005, Ortiz-Arrona *et al.* 2008).

Un reciente análisis de cambio de cobertura y uso del suelo en la porción media de la cuenca del río Ayuquila (Jardel *et al.* 2012) muestra que en el período 1995-2010 se perdieron más de 30 000 ha de selvas bajas (también denominados bosque tropical caducifolio y subcaducifolio) y más de 11 000 ha de bosques (encino, pino, pino-encino, mesófilo de montaña y abetos), mientras que los pastizales se incrementaron casi el doble de su superficie y la agricultura de riego aumentó en un 25 por ciento. Otros cambios notables son la disminución de la agricultura de temporal y el aumento en los matorrales. Los autores concluyen que ambos procesos pueden estar relacionados con el abandono de la agricultura tradicional y la emigración.

La industria azucarera ha reducido sus descargas con alto contenido de materia orgánica y sosa cáustica que durante más de dos décadas agravaban el deterioro ambiental y ocasionaban problemas de salud e impactos socioeconómicos a los pobladores ribereños, pero todavía hay fuentes de contaminación industrial que atender. El auge del cultivo de agave (*Agave tequilana*) con prácticas inapropiadas ha generado fuertes impactos al hábitat del río Tuxcacuesco, uno de los principales tributarios del río Ayuquila-Armería.

Otro factor socioeconómico en la cuenca es la pobreza que se agudiza en algunas regiones y la falta de empleo; esto ejerce presión sobre los recursos forestales con que cuentan estos municipios, a través de la ganaderización, deforestación y la siembra de cultivos ilegales (Gerritsen *et al.* 2005).

# Caracterización de la red fluvial de la cuenca del río Ayuquila-Armería: una propuesta metodológica

## Introducción

La clasificación de los ríos es una tarea esencial para interpretar la distribución de los distintos tipos de funcionamiento ecológico en sus respectivas cuencas vertientes, e indispensable para poder desarrollar estrategias de gestión y conservación (Naiman 1998). El estudio de la clasificación de los ríos se ha realizado desde diferentes criterios, enfoques y atendiendo a diferentes objetivos (González del Tánago y García de Jalón 2006b). Este tema ha sido revisado exhaustivamente por diversos autores (Naiman *et al.* 1992, Thorne 1997, Kondolf *et al.* 2003, Naiman *et al.* 2005). Desde el campo de la ecología fluvial, los primeros trabajos de clasificación se basaron en la relación de especies indicadoras de peces, invertebrados (Wright *et al.* 1989) y plantas acuáticas (Holmes 1989) y los factores físicos implícitos que determinan la zonación longitudinal del río (Schumm 1977) y de los hábitats fluviales (Hawkes 1975). Otros trabajos se enfocaron en el aspecto de la calidad del agua (Meybeck y Helmer 1989) y régimen de caudales (Poff y Ward 1989), relacionando dichas características con la estructura de las comunidades biológicas y la capacidad de recuperación frente a perturbaciones naturales o antrópicas de los sistemas fluviales (Poff y Ward 1990). En el área de la geomorfología fluvial, la clasificación de los ríos se centró en las formas del trazado (Leopold y Wolman 1957 y Brice 1975, citado en González del Tánago y García de Jalón 2006b). Son los trabajos de Hynes (1975) y Schumm (1977) en donde se reconoce la profunda influencia que el territorio de la cuenca vertiente tiene sobre las características del cauce fluvial. Posteriormente, Frissell *et al.* (1986) desarrollaron un enfoque integrado de organización jerárquica de los hábitats fluviales, incluidos más tarde en la clasificación de ríos propuesta por Montgomery y Buffington (1997), basada en la dinámica y estructura del sustrato. Otra clasificación de ríos bastante aceptada es la propuesta de Rosgen (1996), fundamentada en la sinuosidad, la relación del ancho y profundidad del cauce, la pendiente y el tipo de sus-

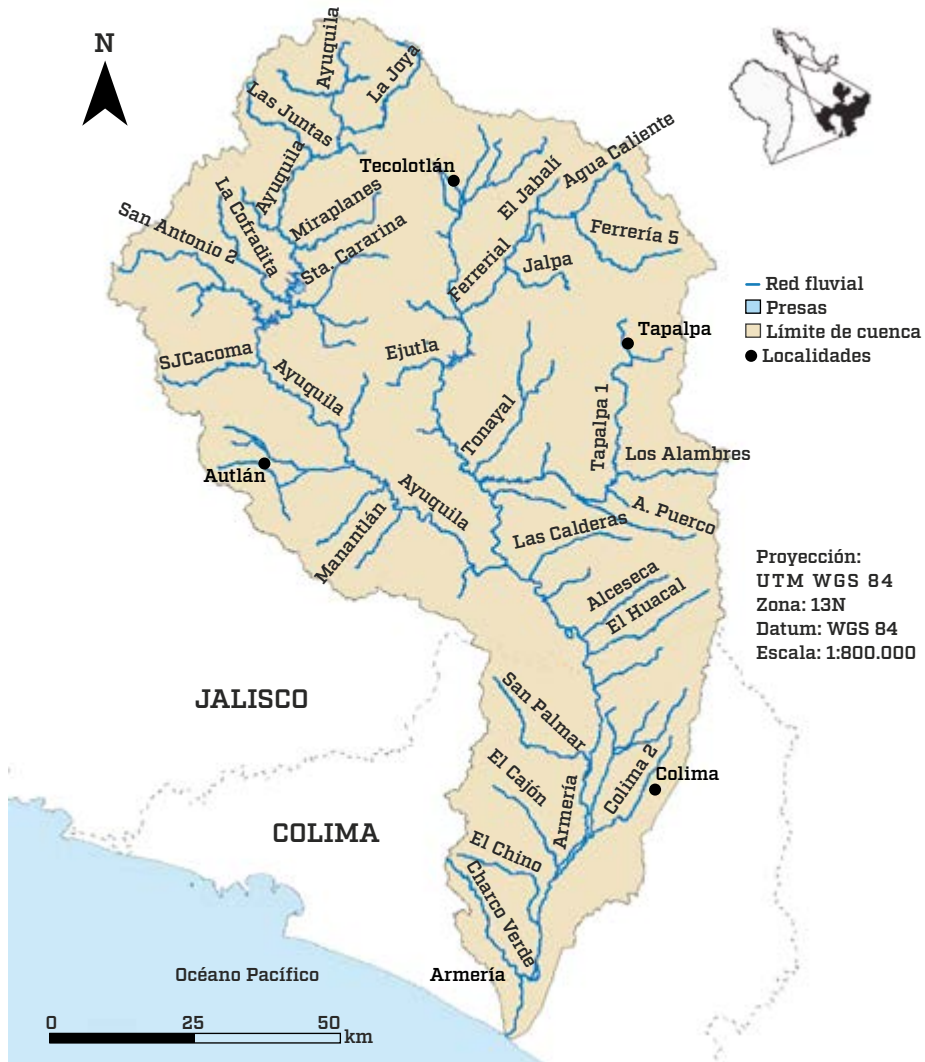
trato, principalmente. En conclusión, según han ido evolucionando los conocimientos científicos de la ecología fluvial y las técnicas informáticas para la caracterización espacial de las regiones hidrográficas, han ido surgiendo diferentes sistemas de clasificación y de regionalización del territorio, integrando finalmente el río en su cuenca vertiente.

La importancia de la clasificación de los ríos en su gestión y conservación ha sido reconocida también en directivas europeas vigentes, como la Directiva Marco del Agua de la Comisión Europea (European Commission 2000/60/EC), con el objetivo de tipificar las masas de agua para así definir las condiciones específicas de referencia de cada tipo de río, llevar a cabo la evaluación del estado ecológico y establecer medidas de prevención de la degradación y protección y mejora de su estado actual. En este contexto, González del Tánago y García de Jalón (2006b) han propuesto una metodología de caracterización de los ríos de tipo jerárquico para describir la variabilidad física de los ríos permanentes y temporales de la red de drenaje en la cuenca y clasificar los distintos segmentos fluviales en los ríos españoles. Esta metodología está fundamentada en criterios hidrológicos y geomorfológicos del río y su cuenca vertiente, de tal forma que cada segmento fluvial se caracteriza por su localización geográfica (provincia y subprovincia fisiográfica), atributos de su cuenca vertiente (tamaño y geología) y características hidrológicas (régimen de caudales) y geomorfológicas (tipo de cauce) que determinan sus hábitats fluviales (granulometría del sustrato, formas del lecho, orillas, riberas, etc.). Además, este sistema de caracterización está diseñado para ser utilizado mediante los sistemas de información geográfica a partir de cartografías disponibles para las diferentes escalas desde la región fisiográfica hasta el segmento fluvial y el desarrollo de trabajo de campo para la escala de hábitat fluvial, incluyendo la vegetación ribereña.

En México no se ha realizado alguna clasificación generalizada al conjunto de ríos del país, pero los trabajos de Garrido *et al.* (2011) y González *et al.* (2012) desarrollados en la cuenca del río Balsas, en el centro del país, son algunos de los primeros esfuerzos de clasificación de ríos y sus valles fluviales a escala de paisaje, los cuales han sido abordados con una aproximación geográfica multiescalar.

Bajo este contexto, en este capítulo se plantea como objetivo principal la caracterización jerárquica de la red hidrográfica de la cuenca del río Ayuquila-Armería y su clasificación tipológica, con base en características hidrológi-

**Mapa 2.1:** Red fluvial de la cuenca del río Ayuquila-Armería, en los estados de Jalisco y Colima, en el occidente de México



cas y geomorfológicas del sistema fluvial. Los resultados de la caracterización y clasificación de la red fluvial adquieren mayor relevancia en el contexto de los estudios sobre la ecología de la vegetación ribereña y de la valoración del estado ecológico de las riberas planteado en el presente libro.

## Metodología

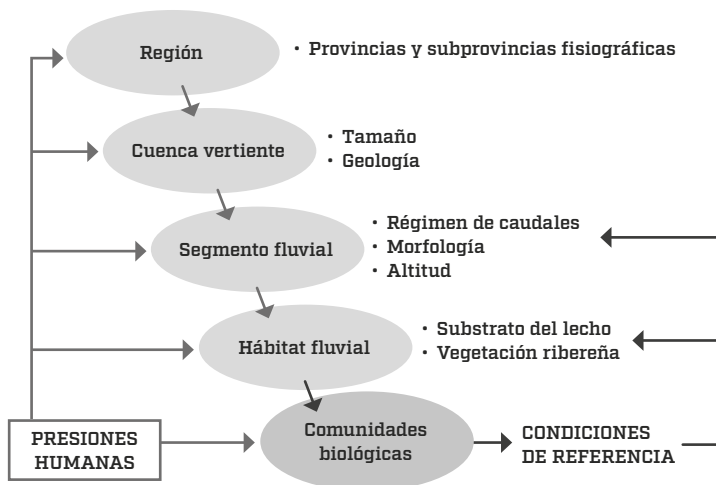
La caracterización jerárquica y la clasificación tipológica de los segmentos fluviales se desarrollaron para toda la red hidrográfica de la cuenca del río Ayuquila-Armería (mapa 2.1).

En este estudio se aplicó y adaptó la metodología propuesta por González del Tánago y García de Jalón (2006b). Esta metodología parte de la dependencia jerárquica de las variables que determinan las comunidades biológicas de los ríos, tal y como se representa en la figura 2.1. En condiciones no alteradas por el hombre, las características climatológicas y geográficas determinan las condiciones hidrológicas de las cuencas vertientes, en cuanto a la magnitud y distribución temporal de las escorrentías. En función de la geología, relieve y tamaño de cada cuenca, dichas condiciones hidrológicas definen distintos regímenes de caudales, configurando distintos tipos morfológicos de cauces, distintas condiciones hidráulicas dentro del cauce y distintos regímenes de humedad y desbordamiento en las riberas y llanuras de inundación. Finalmente, cada régimen de caudales actuando sobre diferentes materiales geológicos, vegetación, usos del suelo, entre otros, va a condicionar distintas granulometrías del lecho y hábitats fluviales, determinando la diversidad de las comunidades biológicas.

De forma inversa, podemos considerar que las comunidades biológicas mantienen una dependencia con su hábitat físico, el cual se configura a partir de las características de los segmentos fluviales en relación con su régimen de caudales y morfología del cauce. Ambas características a su vez dependen de las de su cuenca vertiente en relación con su geología y tamaño, determinando sus condiciones hidrológicas, las cuales finalmente dependen de la región biogeográfica o fisiográfica en la que se enmarcan, considerando su clima, geología, relieve, vegetación, usos del suelo, entre otros (Frissel *et al.* 1986, Hildrew y Giller 1994).



**Figura 2.1:** Escalas espaciales utilizadas para la caracterización jerárquica de los ríos y corrientes tributarias en la cuenca del río Ayuquila-Armería



**Fuente:** elaborado a partir de González del Tánago y García de Jalón, 2006b.

### ***Caracterización jerárquica de los segmentos fluviales***

La aplicación de esta metodología de caracterización jerárquica de los distintos ríos o tramos fluviales de la red hidrográfica de la cuenca Ayuquila-Armería se realizó teniendo como base el conjunto de mapas vectoriales de topografía (escala 1:50 000), escurrimientos (red fluvial) y rocas (geología), a escala 1:250 000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi) de México, disponible en línea (Inegi 2009), y el modelo digital del terreno generado a partir del mapa topográfico disponible. El procesamiento de los mapas digitales se realizó con el sistema de información geográfica ArcGIS v. 9.3, con la aplicación ArcMap. Los mapas digitales de estos temas se manejaron de archivos shapefile.

A continuación se describe cada una de las etapas de trabajo, así como las características y atributos analizados en las distintas escalas jerárquicas y su importancia para la caracterización de los ríos:

### **Etapa 1. Definición de la red hidrográfica de estudio**

La red hidrográfica de estudio corresponde a una escala de 1: 250 000 e incluye los tres ríos principales que conforman la cuenca: Ayuquila, Armería y Tuxcacuesco, así como las corrientes tributarias más importantes por su escurrimiento (Meza 2006). Se revisó y corrigió el mapa digital de la red fluvial, ya que presentaba discontinuidad en su trazado y diversos errores en los puntos de confluencia con el río principal. También se identificaron los nombres de todas las corrientes de la red fluvial de trabajo y se corroboró el régimen hidrológico (perennes o temporales) con base en el Mapa Digital de México v5.0 del Inegi (capa corrientes de agua superficiales) escala 1: 250 000 y cartas topográficas impresas del Inegi (1973) escala 1: 50 000 para integrar una base de datos útil para los objetivos del trabajo.

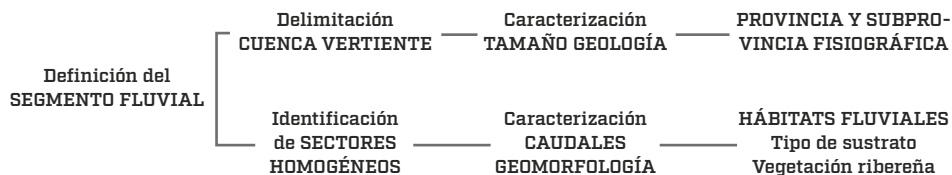
### **Etapa 2. Segmentación de la red fluvial**

Con la red fluvial de estudio bien definida, la siguiente actividad fue la segmentación de dicha red fluvial para diferenciar segmentos fluviales, que son las unidades de caracterización y clasificación fluvial. Estas unidades se han diferenciado a partir de la fragmentación natural de los cauces determinada por la confluencia consecutiva de los respectivos afluentes que aparecen en la red fluvial (Benda *et al.* 2004), cuyos límites quedan indicados en la cartografía disponible. La delimitación de segmentos fluviales es un criterio con fundamento hidrológico y ecológico (González del Tánago y García de Jalón 2006a), y su diferenciación objetiva sobre la cartografía se ha realizado de forma práctica.

Una vez identificados los segmentos fluviales, se procedió a la delimitación de sus respectivas cuencas vertientes, a su ubicación dentro de las respectivas provincias y subprovincias fisiográficas, al análisis de sus características de tamaño y geología, a la diferenciación del régimen de caudales y condiciones geomorfológicas de los segmentos fluviales, tal como se representa en la figura 2.2.

La diferenciación de los distintos segmentos fluviales es un paso clave en el proceso de caracterización fluvial, ya que define el territorio abarcado por las correspondientes cuencas vertientes, y con ello, las características de cada una de ellas.

**Figura 2.2:** Metodología para la caracterización de los segmentos fluviales, atendiendo a diferentes escalas espaciales, cada una de ellas caracterizada por diferentes variables



**Fuente:** Basado en García de Jalón *et al.* (2006).

### Etapa 3. Delimitación de las cuencas vertientes a cada segmento fluvial

La delimitación de las cuencas vertientes al extremo inferior de cada segmento fluvial se realizó a través del proceso de digitalización, a partir de los mapas digitales topográficos y de la red hidrográfica de estudio.

### Etapa 4. Caracterización a escala de cuenca vertiente

La caracterización de las cuencas vertientes de cada segmento fluvial se realizó según su tamaño y geología. La geología es un factor determinante de las condiciones de infiltración y retención de agua en la cuenca, mientras que su tamaño se relaciona con numerosos aspectos de su comportamiento hidrológico y con la magnitud de los caudales.

#### 1. Tamaño de la cuenca vertiente

Se obtuvo la superficie vertiente al extremo inferior de cada segmento fluvial, así como la superficie acumulada a dicho segmento, teniendo en cuenta que las características de cantidad y calidad del agua que circula por cada segmento fluvial están condicionadas por la influencia acumulada de los tramos de aguas arriba. Por lo que, sobre dicha cuenca vertiente acumulada, se realizó la caracterización de su tamaño (km<sup>2</sup>). Se obtuvo como producto final un mapa digital de la red fluvial y de las cuencas vertientes a cada segmento fluvial. Para caracterizar el tamaño de cuenca, se han considerado diferentes clases siguiendo la clasificación propuesta por la Directiva Marco del Agua (European Commission 2000/60/EC), en la cual se diferencian cinco clases de tamaño:

Clase	Tamaño [km <sup>2</sup> ]
Cuenca pequeña	10-100
Cuenca mediana	100-1000
Cuenca grande	1 000-10 000
Cuenca muy grande	10 000-25 000
Gran arteria fluvial	>25 000

## 2. Geología

Se determinó el tipo geológico correspondiente a cada cuenca vertiente al segmento fluvial a partir del mapa digital de geología (rocas), escala 1: 250 000. En el mapa geológico es posible distinguir los siguientes tipos geológicos en la cuenca: rocas ígneas extrusivas ácidas, extrusivas intermedias y extrusivas básicas; rocas ígneas intrusivas ácidas e intrusivas básicas, y rocas calizas, conglomerados y arenisca-conglomerado. A partir de esta clasificación se elaboró un mapa simplificando los diferentes tipos en tres clases geológicas, diferenciadas en la cuenca como se describe a continuación:

Origen geológico	Clases	Tipos
Rocas Ígneas	Ígneas extrusivas (Íg. e.)	Íg. e. básicas
		Íg. e. intermedias
		Íg. e. ácidas
	Ígneas intrusivas (Íg. i.)	Íg. i. básicas
		Íg. i. ácidas
Rocas Sedimentarias	Sedimentarias	Calizas
		Areniscas
		Conglomerados

La caracterización geológica asignada a cada segmento fluvial se ha realizado en función del porcentaje de la clase geológica dominante en cada una de las cuencas, es decir, la geología que ocupa más o menos dos tercios de la superficie de la cuenca vertiente.

### **Etapas 5. A escala regional: provincias y subprovincias fisiográficas**

A escala regional, se ha partido de la clasificación fisiográfica del territorio mexicano, en donde se han definido 15 regiones denominadas provincias fi-

siográficas y 88 subprovincias fisiográficas (Inegi 2009). Una provincia fisiográfica se define como una región geográfica cuyas condiciones climáticas, geológicas y formas del relieve que configuran el paisaje permiten su diferenciación a escala regional; mientras que las subprovincias fisiográficas son áreas donde si bien las geoformas que la integran son las típicas de la provincia, presentan asociaciones cuya frecuencia, magnitud o variación morfológica son apreciablemente diferentes a los del resto de la provincia (Inegi 2009). Esta clasificación ha sido utilizada para la caracterización de las cuencas hidrológicas en México. Para la diferenciación de las provincias y subprovincias del área de estudio se utilizó el mapa vectorial disponible en línea, a escala 1: 1 000 000 (Inegi 2009).

### **Etapas 6. A escala de segmento fluvial**

La caracterización de los segmentos fluviales se realizó atendiendo a las características del régimen de caudales y la geomorfología del valle del respectivo segmento fluvial.

#### **1. Régimen de caudales**

Con base en el mapa digital de la red fluvial de estudio se pueden distinguir dos tipos de regímenes de caudales: corrientes perennes (a los que denominaremos permanentes) e intermitentes (a los que denominaremos temporales). Es en este nivel de diferenciación en que se ha caracterizado el régimen de caudales en los segmentos fluviales de estudio. La dinámica del régimen de caudales del río Ayuquila-Armería requiere ser reconstruida a partir de la aplicación de modelos de simulación hidrológica, ya que la base de datos hidrométrica disponible en línea (Bandas 2013) corresponde a muy pocas estaciones de aforo existentes en la cuenca, y se encuentra incompleta.

#### **2. Geomorfología**

La geomorfología de los segmentos fluviales reviste especial importancia en el ámbito de la restauración de los ríos, ya que facilita la interpretación de las respuestas de los ríos a los efectos de las regulaciones de los caudales y a los impactos de dragados y canalizaciones, y además permite deducir condiciones naturales o de referencia para los distintos tipos de ríos y valles diferenciados. La geomorfología de los segmentos fluviales se ha analizado a través de los siguientes factores que influyen en la morfología y dinámica flu-

vial: a) la altitud (m s. n. m.), b) el tipo de valle, c) la pendiente longitudinal y d) el coeficiente de sinuosidad.

#### a. Altitud

Se midió la altitud (m s. n. m.) mínima y máxima del segmento fluvial, a partir del cual se obtuvo el promedio de la altitud del segmento que fue incluido en la caracterización. A escala de segmento fluvial, la altitud es un factor que se relaciona con el clima que prevalece a escala local (del mesohábitat).

#### b. Tipo de valle

El tipo de valle es importante en la dinámica longitudinal y transversal del segmento fluvial. Los procesos hidrológicos y fluviales dentro de estas zonas varían enormemente a través del tiempo, reflejando la complejidad topográfica y dinámica de sedimentos en el corredor (Gurnell *et al.* 2014). Longitudinalmente, el río fluye por una serie de valles amplios o cerrados. La dimensión transversal se configura y mantiene por la conectividad del cauce con el espacio adyacente (fluvial) durante las avenidas, cuando los cauces se desbordan y conectan el cauce con los distintos hábitats mosaicos existentes en las riberas y llanuras de inundación. La energía de las crecidas es necesaria para la remodelación del sustrato y rejuvenecimiento del sistema ribereño, manteniendo un gradiente de humedad desde la orilla del cauce hacia las zonas más alejadas (Gurnell *et al.* 2014).

El tipo de valle se ha caracterizado atendiendo al grado de confinamiento del valle a lo largo del segmento fluvial. Con base en Brierley *et al.* (2002) y Fryirs y Brierley (2013), se han establecido tres tipos de valle: confinado (C), parcialmente confinado (Parc-C) y no confinado (No-C), que a continuación se definen. Los valles confinados son aquellos en los que más de un 90 por ciento de las orillas del cauce están directamente en contacto con las laderas vertientes o terrazas antiguas. No presentan llanuras de inundación o están limitadas a zonas aisladas menores al 10 por ciento de la longitud del cauce. Los valles parcialmente confinados tienen entre el 10 y 90 por ciento de las orillas de sus cauces en contacto con las llanuras de inundación, generando la formación de llanuras de inundación en zonas alternadas a ambos lados del cauce (llanuras de inundación discontinuas). Finalmente, los valles no confinados son aquellos en los que menos del 10 por ciento de la longitud del cauce está en contacto con las laderas vertientes o terrazas antiguas,

por lo que la llanura de inundación es continua y el río no tiene limitaciones laterales para su movilidad.

**c. Pendiente longitudinal**

La pendiente longitudinal de los ríos es una característica de mucho interés, ya que determina la energía hidráulica del tramo, la tensión media de arrastre y la velocidad de la corriente, entre otros (García de Jalón *et al.* 2006). La pendiente longitudinal de cada segmento fluvial se ha calculado como un valor medio del segmento y es el resultado que se obtiene al dividir la diferencia de cota de los dos extremos del segmento entre su longitud. Tomando en cuenta las clases de pendientes propuestas por Rosgen (1996), se han establecido cuatro clases: baja (<1 %), media (1-2 %), alta (2-4 %) y muy alta (>4 %).

**d. Sinuosidad y tipo de cauce**

El índice de sinuosidad total es entendido como el cociente entre la longitud total y la longitud del valle del segmento fluvial (cauce) (Mueller, 1968), en este caso en el trazado de la longitud del valle, en línea recta desde el nacimiento a la desembocadura, considerando los cambios de dirección marcados por las fracturas. La clasificación de los tipos de sinuosidad se realizó teniendo en cuenta la clasificación establecida por Schumm (1977) citado en Brierley y Fryirs (2005), con base en el valor del índice y en función del número de cauces fluviales. De esta forma, se establecieron las siguientes clases de sinuosidad: recto (1-1.05), baja sinuosidad (>1.05-1.3) y sinuoso o meandriforme (>1.3-3.0) para los cauces únicos; errante para los segmentos con dos a tres cauces y trezado para aquellos segmentos con más de tres cauces.

El análisis del conjunto de variables geomorfológicas se realizó en gabinete usando el mapa topográfico digital, escala 1: 50 000 y el modelo digital del terreno (tamaño del píxel 10) generado a partir del mapa topográfico y el mapa de la red fluvial de estudio.

## **Etapa 7. A escala de hábitats fluviales**

Dentro de los segmentos fluviales pueden existir diferentes tipos de hábitats fluviales, en este caso caracterizados por el tamaño del sustrato del lecho del río (granulometría) y la vegetación ribereña. Estas características se documentaron a partir de trabajo de campo en aproximadamente 70 por ciento

de tramos fluviales, que representan la variabilidad de las condiciones existentes en la red fluvial de la cuenca de estudio.

### 1. Tipo de sustrato del lecho del río

El tipo de sustrato del lecho del río se ha caracterizado por el tamaño de sus componentes dominantes con base en el método Wolman (1954), el cual estima el diámetro dominante (D50) del sustrato. Las partículas se recogen caminando por toda el área bajo medición y a cada paso se toman tres partículas que se tocan con los dedos al azar y sin ver el fondo y se registra su diámetro. Para la clasificación se han establecido las siguientes clases de tamaño: grandes bloques (>1 000 mm), bolos o rocas (>500-1 000 mm), cantos o rocas (>130-500 mm), guijarros (>25-130 mm), gravas (>2.5-25 mm) y arenas (<2.5 mm). Estas observaciones se realizaron sobre todo en tramos fluviales de cauces tributarios y en cauces principales con menor profundidad.

Aunque gran parte de las variables hidrológicas y geomorfológicas de caracterización física se obtuvieron en gabinete a partir de información digital disponible, durante la realización de este estudio se realizó también trabajo de campo para verificar la información y completar los atributos relativos a la granulometría del sustrato. En la tabla 2.1 se resume el conjunto de variables y clases consideradas en la caracterización de los segmentos fluviales de la cuenca Ayuquila-Armería.

### ***Clasificación tipológica de los segmentos fluviales***

La clasificación de los segmentos fluviales es la agrupación en clases o tipos de estos con similares características, y es una tarea posterior a la caracterización. Para la diferenciación de cada grupo de segmentos fluviales de la cuenca Ayuquila-Armería se tomaron como punto de partida los criterios aplicados para la clasificación jerárquica, es decir, se atendió a la región fisiográfica a la que pertenece y las características de su cuenca vertiente en cuanto a su tamaño y geología, añadiendo como criterios de caracterización de cada segmento, dentro de cada grupo, el régimen de caudales, las características geomorfológicas y el tipo de sustrato.

A partir de la caracterización jerárquica descrita en el apartado anterior, y con base en el criterio de expertos, se definieron las clases o tipos de segmentos fluviales presentes en la cuenca.



**Tabla 2.1:** Variables hidrológicas y geomorfológicas de caracterización jerárquica a diferentes escalas utilizadas en la caracterización y clasificación del río Ayuquila-Armería

Escala jerárquica	Variables	Clases
Región	Provincias fisiográficas (INEGI 2009)	Subprovincias fisiográficas
	Sierra Madre del Sur	Sierra de Jalisco Sierra de la Costa de Jalisco y Colima
	Eje Neovolcánico	Volcán de Colima
Cuenca vertiente	Tamaño (Directiva Marco de Agua)	Pequeña (10-100 km <sup>2</sup> ) Mediana (100-1000 km <sup>2</sup> ) Grande (1000-10 000 km <sup>2</sup> )
	Geología (INEGI 2000)	Rocas ígneas extrusivas (Ige) Rocas ígneas intrusivas (Igi) Sedimentarias (Sed.)
	Altitud (m s. n. m.)	Mínima, máxima
	Tipo de valle (adaptado de Rosgen, 1996)	Confinado (C) Parcialmente confinado (Parc-C) No confinado (No-C)
Segmento fluvial	Régimen de caudales (INEGI 2009)	Perenne (Permanente) Intermitente (Temporal)
	Substrato del lecho (Wolman 1954)	Grandes bloques (>1 000 mm)
		Bolos (>500-1 000 mm)
		Cantos (>130-500 mm)
		Guijarros (>25-130 mm)
		Gravas (>2.5-2.5 mm )
	Pendiente (%) (Rosgen 1994)	Arenas (<2.5 mm)
		Baja: <1.0
		Media: >1.0-2.0
	Sinuosidad (Schumm 1977)	Alta: >2.0-4.0
Muy Alta: >4.0-10.0		
Recto (<1.05)		
	Baja sinuosidad (>1.05-1.5)	
	Sinuoso (>1.5-3.0)	

La definición de clases tipológicas se realizó de forma separada para cada grupo de segmentos fluviales según su régimen fluvial (régimen permanente y régimen temporal).

## **Resultados**

### ***Caracterización hidromorfológica de los segmentos fluviales***

La red fluvial Ayuquila-Armería se fragmentó diferenciando segmentos fluviales entre confluencias sucesivas de afluentes (Benda *et al.* 2004), identificando sobre la red fluvial de estudio 119 segmentos fluviales. A partir de esta diferenciación, se delimitó el área acumulada en la parte inferior de cada segmento (mapa 2. 2).

### **Escala regional: provincias y subprovincias fisiográficas**

La cuenca del río Ayuquila-Armería se enmarca en dos provincias fisiográficas bien diferenciadas: Eje Neovolcánico (EN) y Sierra Madre del Sur (SMS) (Inegi 2009). La provincia del Eje Neovolcánico abarca la porción central del estado de Jalisco y dentro de la cuenca Ayuquila-Armería corresponde a su mitad este. En ésta se distinguen dos subprovincias: Sierra de Jalisco (SJ) y Volcanes de Colima (VC). La provincia Sierra Madre del Sur abarca la parte occidental tanto del estado de Jalisco, como de la Cuenca Ayuquila-Armería, distinguiéndose una sola subprovincia: Sierra de la Costa de Jalisco y Colima (SJyC) (mapa 2.3).

La provincia del Eje Neovolcánico colinda al norte con la Sierra Madre Oriental, al sur con la Sierra Madre del Sur; por el oeste llega al Océano Pacífico y por el este al Golfo de México (mapa 2.3). La provincia del Eje Neovolcánico se caracteriza por ser una enorme masa de rocas volcánicas de todo tipo, acumulada en innumerables y sucesivas etapas desde mediados del Terciario (unos 35 millones de años atrás) hasta el presente (Inegi). En esta provincia se encuentra la cadena de grandes volcanes, entre los que está el Volcán de Colima, que se ubica en la porción este de la cuenca, en los límites de los estados de Jalisco y Colima. El clima dominante de la provincia va de templado subhúmedo en los picos más elevados, a semicálido hacia el poniente y semiseco al norte. La vegetación es muy variada, con bosques de co-

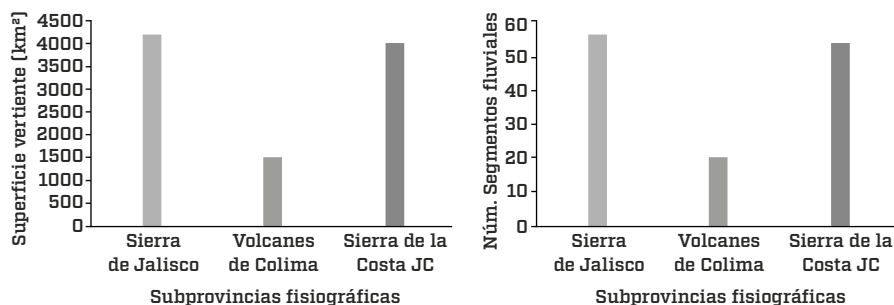
**Mapa 2.2:** Segmentos fluviales de la red fluvial Ayuquila-Armería y delimitación de sus respectivas cuencas vertientes





níferas y encinos en las sierras volcánicas y el bosque tropical caducifolio en el occidente del estado de Jalisco (zona que ocupa la cuenca). El número de segmentos fluviales que corresponden a la provincia del Eje Neovolcánico son 73, lo que representa aproximadamente un 59 por ciento de la superficie vertiente de toda la cuenca. De estos, 52 segmentos se localizan en la subprovincia de la Sierra de Jalisco, ocupando un 43 por ciento de la superficie vertiente, y 21 se ubican en la subprovincia de los Volcanes de Colima, cubriendo un 16 por ciento de la superficie de la cuenca (fig. 2.3).

**Figura 2.3:** Número de segmentos de la red fluvial Ayuquila-Armería y superficie de vertiente en km<sup>2</sup> en las tres subprovincias fisiográficas: Sierra de Jalisco, Volcanes de Colima y Sierra de la Costa de Jalisco y Colima

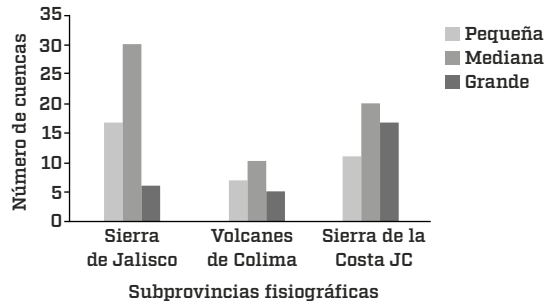


La provincia Sierra Madre del Sur tiene una litología muy completa en la que las rocas intrusivas, especialmente los granitos y las metamórficas, tienen más importancia que en la mayoría de las provincias del norte. Los climas húmedos cálidos y semicálidos prevalecen en gran parte de la provincia, pero hay importantes áreas montañosas húmedas cálidas y semicálidas, por lo que la vegetación que predomina son los bosques tropicales caducifolios en las zonas más bajas y los bosques tropicales subcaducifolios en la franja costera. Es una región considerada con un alto grado de endemismos. En la provincia de la Sierra Madre del Sur representada en una sola subprovincia, Sierra de la Costa de Jalisco y Colima (SCJC), se ubican los 46 segmentos fluviales, ocupando el 41 por ciento de la superficie de la cuenca.

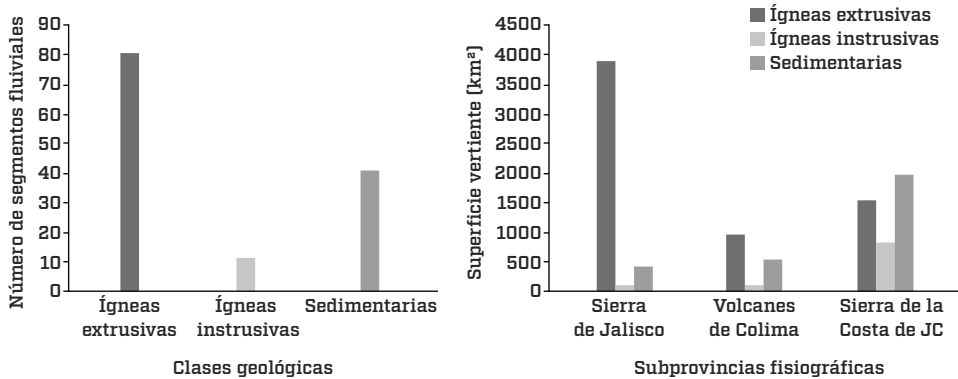
Todas las clases de cuencas por tamaño se encuentran presentes en las tres subprovincias fisiográficas, aunque en diferentes proporciones (figura 2.5). El mayor número de cuencas pequeñas y medianas están, en primer lugar, en

la subprovincia del Eje Neovolcánico, y en segundo lugar, en la Sierra de la Costa de Jalisco y Colima (scjc). Las cuencas pequeñas corresponden en gran parte a los segmentos fluviales de cabecera de los ríos Ayuquila y Tuxcacuesco, y sus tributarios, y las cuencas de tamaño mediano se encuentran principalmente en las porciones medias de estos ríos (mapa 2.4).

**Figura 2.4:** Número de cuencas por tamaño y su distribución en las diferentes subprovincias fisiográficas

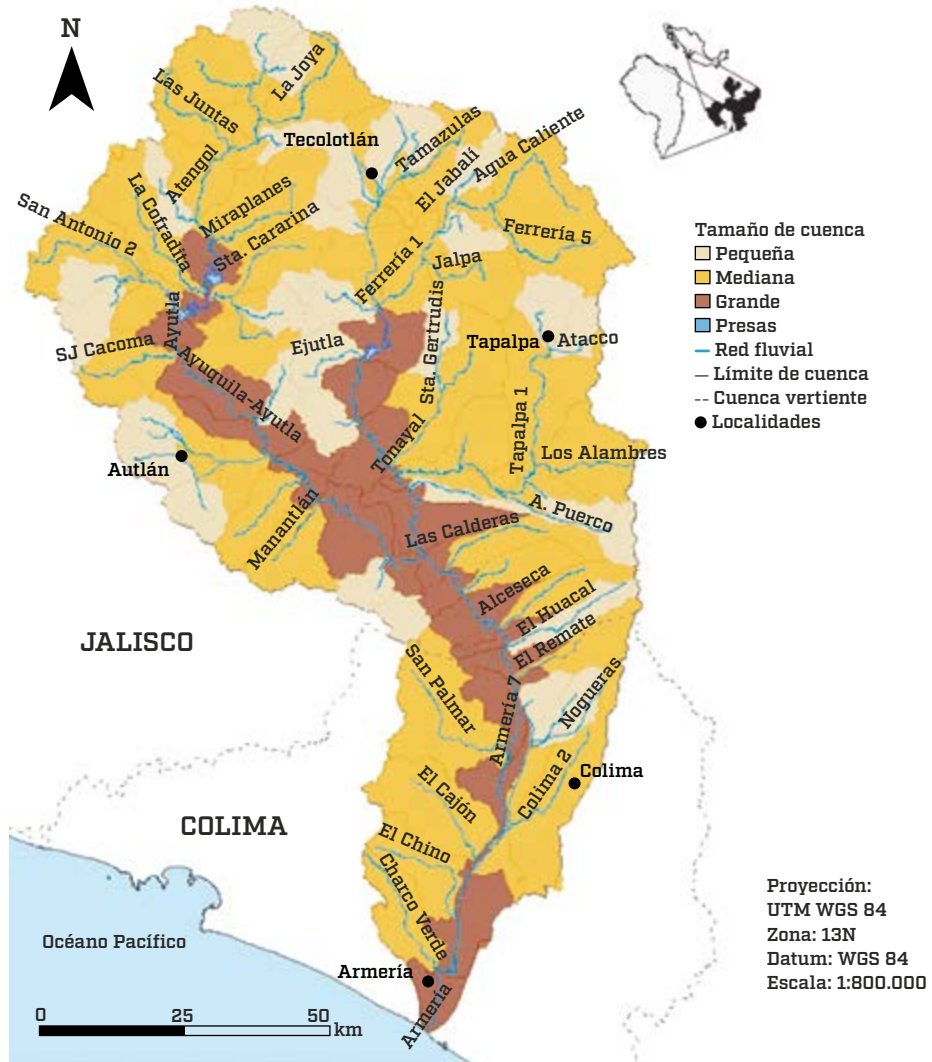


**Figura 2.5:** Número de segmentos fluviales por clases geológicas y superficie vertiente en km<sup>2</sup> de los segmentos de la red fluvial Ayuquila-Armería, correspondiente a cada una de las clases geológicas resultantes



El 24 por ciento de segmentos fluviales analizados drenan cuencas grandes; corresponden a los tramos bajos de los ríos Ayuquila y Tuxcacuesco, de

**Mapa 2.4:** Tamaños de las cuencas vertientes al extremo inferior de los segmentos fluviales considerados en el estudio



mayor tamaño. Otras cuencas grandes importantes se ubican en la porción alta del río Ayuquila, al acumular la superficie vertiente de las cuencas pequeñas de los ríos tributarios (por ejemplo, los arroyos Roble Gordo y Los Guajes, entre otros). Las cuencas grandes se ubican en la Sierra Costera (SCJC), que se extiende hacia el sur de la cuenca hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

## 1. Geología

La cuenca del río Ayuquila-Armería presenta una gran variabilidad de tipos de formaciones geológicas. Para facilitar la interpretación de dicha geología, se han diferenciado por niveles de clases geológicas. A nivel de cuenca vertiente acumulada, la geología dominante es de rocas ígneas extrusivas. Sin embargo, a nivel de segmentos fluviales, el 67 por ciento presenta cuencas vertientes formadas por rocas ígneas extrusivas; el 28 por ciento, por rocas sedimentarias (principalmente del tipo arenisca-conglomerado) y solo el 5 por ciento por rocas ígneas intrusivas (graníticas) (figura 2.5).

En el Eje Neovolcánico discurren el río Tuxcacuesco y algunas corrientes tributarias de la porción oeste del río Ayuquila. Predominan las rocas sedimentarias de origen marino y las rocas ígneas extrusivas ácidas del Cretácico, que fueron cubiertas por derrames volcánicos y productos piroplásticos del Terciario. De esta misma edad son algunos cuerpos de rocas ígneas intrusivas básicas, así como las rocas sedimentarias (areniscas y conglomerados) de origen continental que afloran en esta provincia. Las rocas más recientes son del Cuaternario y están constituidas por areniscas, conglomerados y depósitos aluviales de basalto (Inegi 2009).

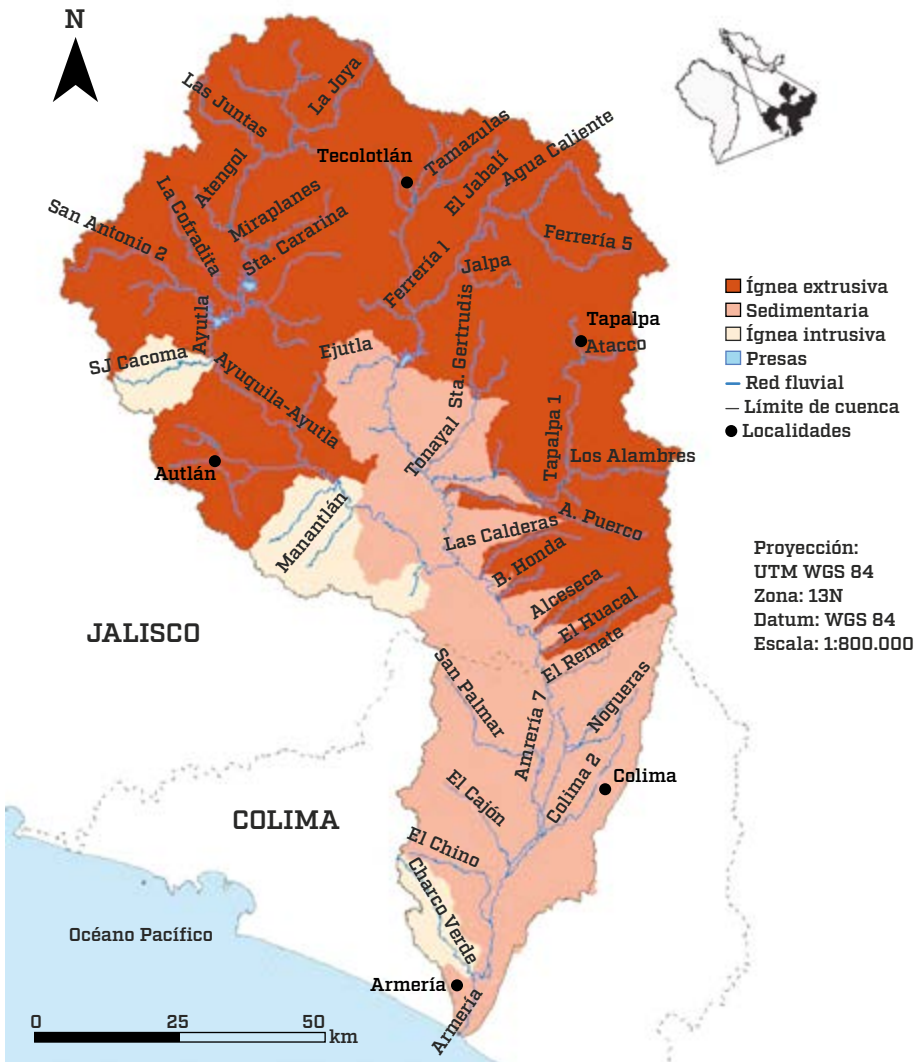
En la Sierra Madre del Sur, en la región occidental de la cuenca, fluyen los cauces principales de los ríos Ayuquila y Armería. Durante el periodo Terciario se originaron los depósitos de rocas volcánicas que cubrieron gran parte del área y al mismo tiempo se formaron los depósitos de rocas sedimentarias continentales (2009). En el Cuaternario, se formaron los depósitos de suelos como los que rellenan los valles de esta región con fuerte desarrollo agrícola.

### **Escala de segmento fluvial**

La caracterización a escala de segmento fluvial se realizó en función de su régimen de caudales y su geomorfología. La geomorfología de los cauces está configurada por la dinámica que impone el régimen de caudales circulantes,



**Mapa 2.5:** Clases geológicas presentes en la cuenca Ayuquila-Armería



el cual depende a su vez de las características ya descritas de las cuencas vertientes en relación con su geología (determinante de las características de infiltración y retención de precipitaciones y escorrentías), con su tamaño (implica órdenes de magnitud de los caudales) y con la región fisiográfica donde

se ubican (relacionada con unas determinadas condiciones climatológicas en términos de régimen de precipitaciones y temperaturas).

### 1. Régimen de caudales

Los segmentos fluviales en la cuenca corresponden a dos tipos de régimen de caudales: a) permanentes (o perennes) de tipo pluvial y b) temporales. Las corrientes permanentes en la red fluvial Ayuquila-Armería llevan agua todo el año, y su abastecimiento depende del régimen de precipitación estacional y del freático, mientras que las corrientes temporales dependen principalmente de las precipitaciones que ocurren durante en el verano, generalmente entre los meses de junio y octubre, mientras en la época más seca (marzo a mayo) los acuíferos se agotan. De la totalidad de los segmentos fluviales considerados, 90 (76 %) son de régimen permanente y 29 (24 %) son de carácter temporal.

### 2. Geomorfología

La geomorfología de los segmentos fluviales ha sido analizada a través del tipo de valle, la pendiente longitudinal de los cauces y el coeficiente de sinuosidad.

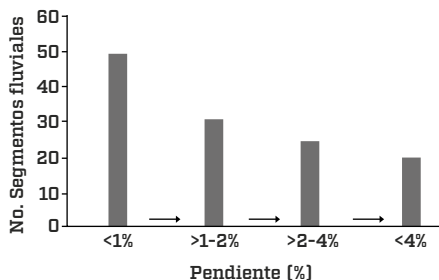
#### a. Tipo de valle

El cauce principal del río Ayuquila-Armería en su recorrido de aproximadamente 280 km discurre a través de una secuencia de valles confinados, parcialmente confinados y no confinados. A lo largo del río se distinguen en forma general cinco secciones: el primer tramo de aproximadamente 80 km, que discurre en un valle parcialmente confinado y pendientes bajas y medias en la cabecera de la cuenca; una segunda sección que corresponde a un cauce con pendientes medias, que discurre por un valle confinado donde están ubicadas las presas de Tacotán y Trigomil; un tercer tramo, donde el cauce atraviesa un valle no confinado y extenso, el valle agrícola de Autlán-El Grullo; aguas abajo, el cauce del río vuelve a entrar a una serie de pequeños valles parcialmente confinados hasta el punto de su confluencia con el río Tuxcacuesco para formar el río Armería, continuando su curso por aproximadamente 100 km aguas abajo; y el tramo final, donde el cauce del río discurre por un valle no confinado y extenso hasta su desembocadura en el océano Pacífico. Es en esta sección donde el cauce es de tipo trezado.

### b. Pendiente

Los valores de la pendiente longitudinal se han agrupado en cuatro clases: baja (<1 %), media (1-2 %), alta (2.1-4 %) y muy alta (>4 %), adaptando las clases de pendiente propuestas por Rosgen (1996), ya que no se encontraron segmentos con valores de pendientes mayores o iguales a 10 por ciento (figura 2.6).

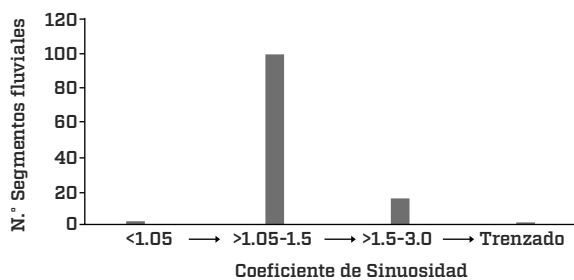
**Figura 2.6:** Distribución del número de segmentos fluviales (N= 119) correspondientes a cada una de las clases de pendiente longitudinal, representadas en las clases baja (<1%), media (1-2%), alta (>2-4%) y muy alta (>4%)



### c. Sinuosidad

El coeficiente de sinuosidad se ha obtenido como cociente entre la longitud del segmento y la distancia geométrica entre sus dos extremos. En relación con la sinuosidad total de los cauces, la mayoría de los segmentos fluviales presentó cauces de baja sinuosidad a sinuosos (meandriiformes), siendo muy escasos los tramos rectos (figura 2.7). Los tramos que comprenden los segmentos fluviales Armería 3 y Armería 2 presentan múltiples cauces, denominándolos trenzados.

**Figura 2.7:** Coeficiente de sinuosidad de los segmentos (N=119) de la red fluvial Ayuquila-Armería: recto (<1.05), baja sinuosidad (>1.05-1.5), sinuoso o meandriforme (>1.5-3.0) para cauces únicos, y trenzado para segmentos con cauces múltiples



En la tabla 2.2 se resumen las características analizadas de los segmentos fluviales de la red hidrográfica de Ayuquila-Armería, siguiendo un esquema jerárquico de los distintos factores que actúan en las diferentes escalas espaciales consideradas.

**Tabla 2.2:** Caracterización jerárquica de los segmentos fluviales de la red hidrográfica Ayuquila-Armería, México

Segmento fluvial	Provincia fisiográfica	Subprovincia fisiográfica	Subcuenca	Altura (m s. n. m.)	Tamaño CVA (km <sup>2</sup> )	Longitud (km)	Geología	Tipo de valle	Sustrato lecho	Pendiente promedio (%)	Sinuosidad (%)	Régimen
Tamaz5	EN	VC	TUX	1440	121.74	19.22	Igext	C	Cantos	2.7	1.4	P
Pichitota	EN	VC	TUX	875	44.50	18.60	Igext	Paro-C	Gujarros	1.7	1.4	P
Ejutla	EN	VC	TUX	960	85.77	16.06	Sed	Paro-C	Grandes bloques	1.7	1.3	P
Tuxca4	EN	VC	TUX	750	1951.22	16.49	Sed	Paro-C	Gujarros	0.1	1.8	P
Tuxca3	EN	VC	TUX	740	2300.61	2.53	Sed	Paro-C	Gujarros	0.1	1.2	P
Tuxca2	EN	VC	TUX	730	3269.24	4.10	Sed	Paro-C	Gujarros	0.5	1.2	P
Tuxca1	EN	VC	TUX	700	3473.45	19.36	Sed	Paro-C	Cantos	0.2	1.6	P
Alseseca	EN	VC	ARM	1140	108.16	22.64	Igext	C	Cantos	4.4	1.2	P
Huacal	EN	VC	ARM	2093	93.54	30.80	Igext	C	Bolos	9.6	1.3	P
Arme3	EN	VC	ARM	152	9258.05	9.08	Sed	No-C	Cantos	0.7	Trenzado	P
ASeco3	EN	VC	ARM	595	60.48	13.43	Sed	C	Cantos	1.8	1.2	P
AHondo	EN	SJ	TUX	1280	67.61	11.29	Igext	Paro-C	Cantos	1.8	1.2	P
Tamaz4	EN	SJ	TUX	1160	207.25	5.54	Igext	Paro-C	Cantos	0.7	1.2	P
Pochote	EN	SJ	TUX	1699	61.47	16.67	Igext	C	Bolos	6.7	1.1	P
Tamaz3	EN	SJ	TUX	1135	284.85	0.73	Igext	Paro-C	Gujarros	1.4	1.2	P
Tecolotlán	EN	SJ	TUX	1185	330.69	7.79	Igext	Paro-C	Cantos	1.4	1.2	P

Segmento fluvial	Provincia fisiográfica	Subprovincia fisiográfica	Subcuenca	Altura [m s. n. m.]	Tamaño CVA [km <sup>2</sup> ]	Longitud [km]	Geología	Tipo de valle	Sustrato lecho	Pendiente promedio [%]	Sinuosidad [%]	Régimen
Tamaz2	EN	SJ	TUX	1128	333.27	2.09	Igext	Parc-C	Gujarros	0.2	1.2	P
Tamaz1	EN	SJ	TUX	1110	444.68	5.03	Igext	Parc-C	Gujarros	0.6	1.2	P
Tux-Tama	EN	SJ	TUX	997	619.32	17.67	Igext	C	Gujarros	1.1	1.3	P
ACaliente	EN	SJ	TUX	1860	230.66	31.47	Igext	C	Bolos	2.7	1.3	P
Ferre5	EN	SJ	TUX	1963	174.06	33.41	Igext	C	Bolos	3.1	1.4	P
Ferre4	EN	SJ	TUX	1350	434.76	11.93	Igext	C	Bolos	1.5	1.6	P
Jabali	EN	SJ	TUX	1386	73.61	9.22	Igext	C	Bolos	2.7	1.3	P
Ferre3	EN	SJ	TUX	1190	520.57	7.38	Igext	C	Bolos	1.9	1.2	P
Ferre2	EN	SJ	TUX	1070	621.32	6.91	Igext	C	Bolos	1.4	1.3	P
Jalpa	EN	SJ	TUX	1363	148.50	20.12	Igext	C	Bolos	3.4	1.4	P
Ferre1	EN	SJ	TUX	960	848.95	14.60	Igext	C	Bolos	0.8	1.3	P
Tuxca7	EN	SJ	TUX	897	1489.13	1.29	Igext	Parc-C	Cantos	0.4	1.0	P
Signa	EN	SJ	TUX	1087	99.66	14.23	Igext	C	Bolos	2.7	1.2	P
Tuxca6	EN	SJ	TUX	857	1572.69	12.24	Igext	C	Cantos	0.6	1.2	P
Gertrudis	EN	SJ	TUX	1406	70.04	17.26	Igext	C	Bolos	5.6	1.2	P
Tapalpa2	EN	SJ	TUX	2082	91.41	10.29	Igext	C	Bolos	1.2	1.2	P
Atacco	EN	SJ	TUX	2124	60.03	9.36	Igext	Parc-C	Cantos	2.1	1.2	P
Tapalpa1	EN	SJ	TUX	1682	404.51	31.14	Igext	C	Bolos	2.1	1.4	P
Alambres	EN	SJ	TUX	1830	190.49	22.91	Igext	C	Grandes bloques	5.2	1.3	P

Caracterización de la red fluvial de la cuenca del río Ayuquila-Armería

Segmento fluvial	Provincia fisiográfica	Subprovincia fisiográfica	Subcuenca	Altura (m s. n. m.)	Tamaño CVA (km <sup>2</sup> )	Longitud (km)	Geología	Tipo de valle	Sustrato lecho	Pendiente promedio (%)	Sinuosidad (%)	Régimen
Tuxca5	EN	SJ	TUX	790	1750.66	14.92	Sed	Paro-C	Gujajarros	0.4	1.3	P
Asalado	EN	SJ	TUX	786	83.66	6.18	Sed	No-C	Cantos		1.3	P
Tonaya2	EN	SJ	TUX	1060	138.90	12.34	Sed	Paro-C	Cantos	2.3	1.4	P
Tonaya1	EN	SJ	TUX	830	344.71	19.07	Sed	Paro-C	Cantos	0.9	1.2	P
Guajes	EN	SJ	AYU	1540	82.81	9.97	Igext	Paro-C	Cantos	1.2	1.3	P
Siviva	EN	SJ	AYU	1510	57.31	7.36	Igext	Paro-C	Gujajarros	0.8	1.7	P
SnPedro	EN	SJ	AYU	1460	150.78	5.36	Igext	Paro-C	Bolos	0.7	1.3	P
Garro	EN	SJ	AYU	1550	145.04	16.93	Igext	Paro-C	Bolos	1.3	1.4	P
Ateng4	EN	SJ	AYU	1420	313.27	8.30	Igext	Paro-C	Cantos	0.5	1.2	P
Joy-Ate	EN	SJ	AYU	1820	169.75	37.16	Igext	Paro-C	Cantos	2.3	1.4	P
Ateng3	EN	SJ	AYU	1400	510.14	5.37	Igext	Paro-C	Gujajarros	0.1	1.5	P
Ateng2	EN	SJ	AYU	1390	591.00	7.54	Igext	Paro-C	Cantos	0.3	1.4	P
Juntas-Ayu	EN	SJ	AYU	1779	103.30	27.66	Igext	Paro-C	Bolos	2.9	1.4	P
Fresnos	EN	SJ	AYU	1380	62.08	11.49	Igext	Paro-C	Cantos	1.0	1.3	P
Vallado	EN	SJ	AYU	1442	130.73	13.40	Igext	Paro-C	Cantos	1.8	1.2	P
Trinidad2	EN	SJ	AYU	1320	216.02	2.51	Igext	Paro-C	Cantos	0.1	1.2	P
Ayuq5	EN	SJ	AYU	870	2771.52	9.42	Igext	No-C	Gravas	0.2	1.5	P
Jaloco2	EN	SJ	AYU	1134	47.3	10.34	Igext	C	Cantos	4.1	1.1	P

Segmento fluvial	Provincia fisiográfica	Subprovincia fisiográfica	Subcuenca	Altura [m s. n. m.]	Tamaño CVA [km <sup>2</sup> ]	Longitud [km]	Geología	Tipo de valle	Sustrato lecho	Pendiente promedio [%]	Sinuosidad [%]	Régimen
Ayuq4	EN	SJ	AYU	860	3196.45	10.35	Igext	No-C	Arenas	0.1	1.6	P
Jalocol	EN	SJ	AYU	901	4730		Igext	Parc-C	Gujjarros.	0.5	1.2	P
Ayuq3	EN	SJ	AYU	850	3350.41	8.31	Igi	Parc-C	Arenas	0.2	1.6	P
Ateng1	SMS	SC_JC	AYU	1370	81777	20.56	Igext	Parc-C	Cantos	0.1	1.4	P
AChiquito	SMS	SC_JC	AYU	1530	73.80	14.71	Igext	Parc-C	Cantos	2.3	1.4	P
Ayu-Ate	SMS	SC_JC	AYU	1360	94788	6.28	Igext	Parc-C	Cantos	0.1	1.5	P
Ayut4	SMS	SC_JC	AYU	1289	138719	18.02	Igext	Parc-C	Cantos	0.7	1.7	P
Cofradia	SMS	SC_JC	AYU	1468	199.85	34.14	Igext	C	Cantos	1.4	1.5	P
Ayut3	SMS	SC_JC	AYU	1231	1186.94	0.50	Igext	Parc-C	Grandes bloques	2.6	1.0	P
Trinidad1	SMS	SC_JC	AYU	1272	356.39	7.27	Igext	Parc-C	Cantos	1.3	1.9	P
Ayut2	SMS	SC_JC	AYU	1232	1172.76	9.57	Igext	Parc-C	Cantos	0.2	1.6	P
SAnton2	SMS	SC_JC	AYU	1675	159.17	31.03	Igext	C	Grandes bloques	2.4	1.3	P
RGordo2	SMS	SC_JC	AYU	1410	59.54	5.36	Igext	Parc-C	Cantos	1.9	1.1	P
Cuapas	SMS	SC_JC	AYU	1410	92.04	6.73	Igext	Parc-C	Cantos	1.5	1.4	P
RGordo1	SMS	SC_JC	AYU	1300	163.80	6.71	Igext	Parc-C	Cantos	1.8	1.7	P
SAnton1	SMS	SC_JC	AYU	1270	400.70	14.96	Igext	Parc-C	Bolos	0.4	1.5	P
Ayut1	SMS	SC_JC	AYU	1130	2397.93	8.00	Igext	C	Cantos	2.7	1.4	P
Ayuq-Ayut	SMS	SC_JC	AYU	950	261718	24.57	Igext	Parc-C	Bolos	0.6	1.3	P
SJCacoma	SMS	SC_JC	AYU	1706	145.70	27.92	Igi	C	Grandes bloques	5.0	1.5	P



Caracterización de la red fluvial de la cuenca del río Ayuquila-Armería

Segmento fluvial	Provincia fisiográfica	Subprovincia fisiográfica	Subcuenca	Altura (m s. n. m.)	Tamaño CVA(km <sup>2</sup> )	Longitud (km)	Geología	Tipo de valle	Sustrato lecho	Pendiente promedio (%)	Sinuosidad (%)	Régimen
Yerba	SMS	SC_JC	AYU	1160	126.34	21.16	Igi	Paro-C	Cantos	2.8	1.3	P
Manantlán	SMS	SC_JC	AYU	1180	151.68	15.25	Igi	C	Bolos	4.5	1.2	P
Ayuq2	SMS	SC_JC	AYU	780	3659.88	21.51	Igi	C	Bolos	0.6	1.3	P
Ayuq1	SMS	SC_JC	AYU	700	3758.01	7.56	Sed	Paro-C	Cantos	0.5	1.1	P
Cajón	SMS	SC_JC	ARM	350	239.71	2.96	Igi	C	Cantos	1.5	1.1	P
Arme12	SMS	SC_JC	ARM	680	7274.81	5.46	Sed	Paro-C	Gujajros	0.1	1.1	P
Arme11	SMS	SC_JC	ARM	680	7441.75	9.19	Sed	C	Cantos	.01	0	P
Arme10	SMS	SC_JC	ARM	660	7653.14	14.00	Sed	C	Gujajros	0.3	1.5	P
Arme9	SMS	SC_JC	ARM	624	7798.24	3.58	Sed	C	Bolos	0.9	1.0	P
Arme4	SMS	SC_JC	ARM	192	8793.81	7.50	Sed	C	Bolos	0.6	1.4	P
Arme8	SMS	SC_JC	ARM	584	7949.35	15.97	Sed	C	Cantos	0.6	1.2	P
Arme7	SMS	SC_JC	ARM	474	8163.78	32.98	Sed	C	Bolos	0.9	1.2	P
SanPalmar	SMS	SC_JC	ARM	674	304.71	19.97	Sed	Paro-C	Cantos	1.7	1.2	P
Arme5_6	SMS	SC_JC	ARM	294	8550.54	9.58	Sed	Paro-C	Bolos	0.9	1.1	P
Colima2	SMS	SC_JC	ARM	590	39.36	10.57	Sed	Paro-C	Cantos	2.0	1.2	P
Colima1	SMS	SC_JC	ARM	242	454.23	20.59	Sed	No-C	Cantos	1.1	1.1	P
Arme2	SMS	SC_JC	ARM	80	9536.36	18.43	Sed	No-C	Cantos	0.4	Trenza-do	P
Arme1	SMS	SC_JC	ARM	25	9754.60	12.59	Sed	No-C	Cantos	0.2	1.2	P
Salatlillo	EN	SJ	AYU	1110	56.3	14.55	Igext	C	Bolos	3.2	1.3	T

Segmento fluvial	Provincia fisiográfica	Subprovincia fisiográfica	Subcuenca	Altura (m s. n. m.)	Tamaño CVA (km <sup>2</sup> )	Longitud (km)	Geología	Tipo de valle	Sustrato lecho	Pendiente promedio (%)	Sinuosidad (%)	Régimen
Miraplanes	EN	SJ	AYU	1400	166.95	22.48	Igext	Paro-C	Cantos	0.3	1.4	T
SCatarina	EN	SJ	AYU	1345	131.02	19.64	Igext	Paro-C	Cantos	0.3	1.1	T
Jiquil4	EN	SJ	TUX	1200	635.72	7.02	Igext	C	Grandes bloques	1.1	1.3	T
Plan	EN	SJ	TUX	1340	61.34	9.59	Igext	C	Cantos	4.6	1.3	T
SnPe-dro-Tux	EN	SJ	TUX	1208	86.31	12.87	Igext	Paro-C	Gujjarros	1.3	1.2	T
StaMaria	EN	SJ	TUX	1107	46.43	2.93	Igext	Paro-C	Gujjarros	0.9	1.2	T
APuerto	EN	VC	TUX	1540	78.39	25.76	Igext	Paro-C	Bolos	3.9	1.2	T
Jiquil2	EN	VC	TUX	960	795.72	10.79	Igext	Paro-C	Cantos	1.5	1.3	T
Jiquil3	EN	VC	TUX	1100	692.88	7.52	Igext	C	Grandes bloques	1.6	1.2	T
Juntas2	EN	VC	TUX	810	109.91	8.58	Igext	C	Cantos	0.7	1.4	T
Telcam	EN	VC	TUX	1259	39.69	6.53	Igext	Paro-C	Bolos	3.0	1.4	T
Jiquil1	EN	VC	TUX	920	968.63	20.74	Sed	Paro-C	Cantos	1.3	1.9	T
BHonda	EN	VC	ARM	890	100.77	14.51	Igext	C	Cantos	2.9	1.5	T
Palmas	EN	VC	ARM	1070	123.74	27.29	Igext	C	Cantos	2.9	1.3	T
Cblanco	EN	VC	ARM	920	56.45	7.68	Igi	Paro-C	Cantos	5.2	1.2	T
Remate	EN	VC	ARM	914	100.55	18.65	Sed	C	Cantos	4.4	1.1	T
Ahuaca	SMS	SC_JC	AYU	923	84.14	6.70	Igext	C	Cantos	1.1	1.1	T
Cangrejo	SMS	SC_JC	AYU	1241	7.5	8.44	Igext	C	Cantos	7.6	1.2	T
Coajim1	SMS	SC_JC	AYU	870	377.44	8.50	Igext	No-C	Cantos	0.2	1.0	T

Segmento fluvial	Provincia fisiográfica	Subprovincia fisiográfica	Subcuenca	Altura (m s. n. m.)	Tamaño CVA(km <sup>2</sup> )	Longitud (km)	Geología	Tipo de valle	Sustrato lecho	Pendiente promedio (%)	Sinuosidad (%)	Régimen
Coajin2	SMS	SC_JC	AYU	883	200.78	5.85	Igext	Parc-C	Cantos	0.1	1.1	T
Coajin3	SMS	SC_JC	AYU	973	92.4	14.47	Igext	C	Cantos	1.2	1.1	T
ConfPim	SMS	SC_JC	AYU	1437	53.57	6.93	Igext	Parc-C	Arenas	1.1	1.3	T
ChVerde	SMS	SC_JC	ARM	660	146.8	30.05	Igi	Parc-C	Cantos	4.1	1.2	T
SnJuan	SMS	SC_JC	ARM	765	60.48	0.65	Igi	C	Cantos	3.8	1.2	T
ASeccol	SMS	SC_JC	ARM	400	186.98	28.87	Sed	Parc-C	Cantos	1.2	1.1	T
ASecc2	SMS	SC_JC	ARM	505	111.67	21.03	Sed	C	Cantos	1.3	1.1	T
Chino	SMS	SC_JC	ARM	518	138.85	26.51	Sed	C	Cantos	3.0	1.2	T
Nogueras	SMS	SC_JC	ARM	975	41.57	16.08	Sed	Parc-C	Cantos	4.5	1.2	T

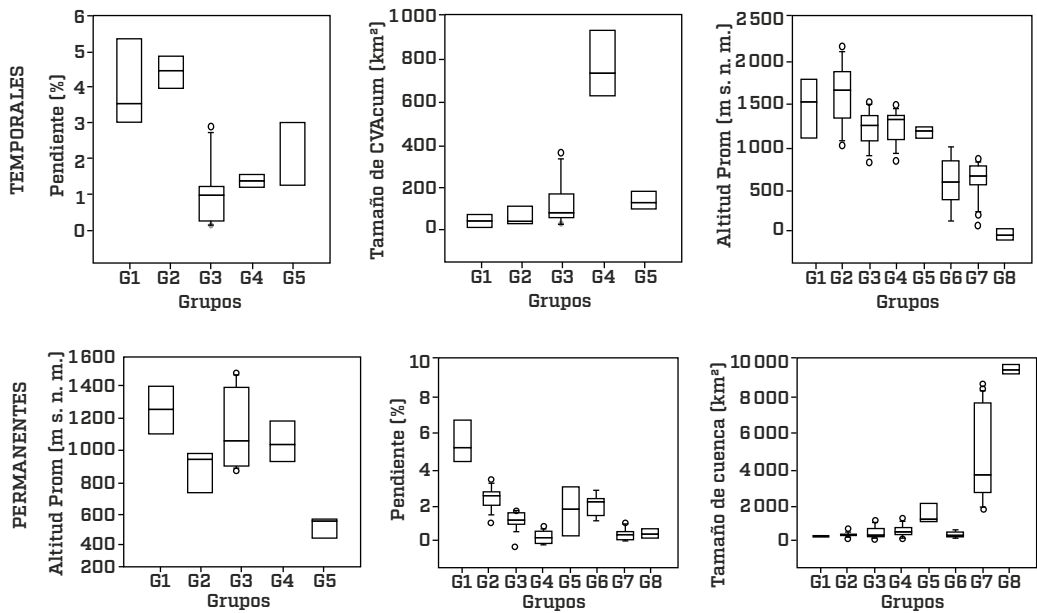
Las abreviaciones incluidas en la tabla corresponden a: EN: Eje Neovolcánico, SMS: Sierra Madre del Sur. (Subprovincia fisiográfica); SJ: Sierra de Jalisco, VC: Volcanes de Colima, SC\_J: Sierra de la Costa de Jalisco y Colima, AYU: Ayuquila, TUX: Tuxcacuesco, ARM: Armería, ALT: (Altitud promedio). GEOL. (Geología): Igext: Roca ígnea extrusiva, Igi: Roca ígnea intrusiva, Sed: Sedimentaria, C (Confinado), Parc-C (Parcialmente confinado) y No-C (No Confinado). SINUOS (Sinuosidad %). RÉGIMEN: P: Permanente o Perenne y T: Temporal.

## Clasificación tipológica de los segmentos fluviales

### Ordenación jerárquica y agrupación de los segmentos fluviales

A partir de las características de los segmentos fluviales que aparecen sintetizados en la tabla 2.2 fue posible distinguir trece tipos, manteniendo de forma separada los segmentos fluviales permanentes (N = 90) y los segmentos temporales (N = 29). Las características generales de cada tipo se resumen en la tabla 2.3. Los tipos 1 al 8 corresponden a los segmentos fluviales permanentes, mientras que los tipos 9 al 13 se refieren a los segmentos temporales. En la figura 2.8, se muestran los resultados del Anova de las comparaciones de los factores de altitud promedio, tamaño de cuenca acumulada y pendiente por grupo. La distribución espacial de los tipos de segmentos fluviales diferenciados se muestra en el mapa 2.6.

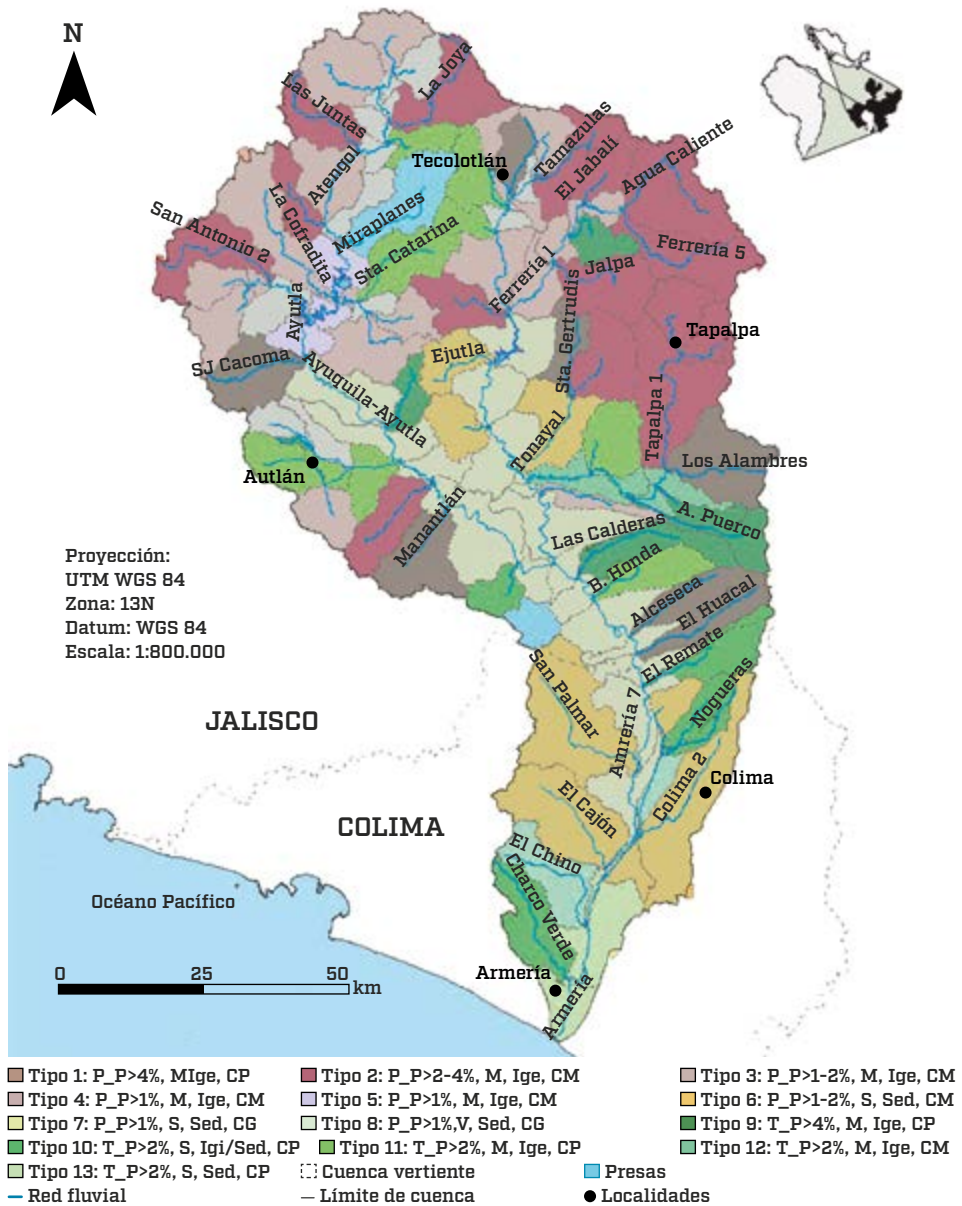
**Figura 2.8:** Box plots del ANOVA a) Segmentos fluviales temporales (G1-G5) y b) Segmentos fluviales permanentes (G1-G8).



**Tabla 2.3:** Clasificación de los tipos de ríos reconocidos en la cuenca del río Ayuquila-Armería, a través del análisis de ordenación teniendo como base los resultados de la caracterización jerárquica

Altitud Promedio (m s. n. m.)	Geología (clases)	Tamaño CVAcum (km <sup>2</sup> )	Pendiente (%)	Tipo de Valle	Granulometría del Sustrato	Sinuosidad (%)	Grupo	N.º Segmentos
Régimen perenne								
>1000 m	Volcánica	Pequeñas	Muy alta	C	Bolos, Cantos	1.2	1	8
>1000 m	Volcánica	Medianas	Alta	C, Parc-C	Bolos, Cantos	1.3	2	14
>1000 m	Volcánica	Medianas	Media	Parc-C, C	Cantos, Bolos	1.4	3	19
>1000 m	Volcánica	Medianas	Baja	Parc-C	Cantos, Guijarros	1.3	4	13
>1000 m	Volcánica	Medianas	Media	Parc-C, C	Cantos	1.4	5	4
400-1000 m	Sedimentarias	Medianas	Media	Parc-C,C, No-C	Cantos	1.2	6	9
400-1000 m	Sedimentarias	Grandes	Baja	Parc-C, C, No-C	Bolos, Cantos, Guijarros	1.3	7	21
<400 m	Sedimentarias	Grandes	Baja	No-C	Gravas, Arenas	1.3	8	3
Régimen temporal								
>1000 m	Volcánica	Pequeñas	Muy Alta	C, Parc-C	Bolos, Cantos	1.3	9	6
400-1000 m	Sedimentaria, Granítica	Pequeñas	Muy Alta	Parc-C, C	Cantos	1.2	10	5
>1000 m	Volcánica	Pequeñas	Media	Parc-C,C	Cantos, Guijarros	1.2	11	10
>1000 m	Volcánica	Medianas	Media	C, Parc-C	Grandes bloques/ Cantos	1.3	12	4
400-1000 m	Sedimentaria	Medianas	Media	C, Parc-C	Cantos	1.1	13	3

**Mapa 2.6:** Distribución de los 13 tipos de ríos identificados en la red fluvial de la cuenca del río Ayuquila-Armería



A continuación se enlistan los 13 tipos de ríos diferenciados en la cuenca del río Ayuquila-Armería (tabla 2.4).

**Tabla 2.4:** Descripción de las 13 tipologías reconocidas en la cuenca del río Ayuquila-Armería

Tipo	Denominación
1	Ríos permanentes de montaña, volcánicos, cuencas pequeñas, con pendientes muy altas, valles confinados.
2	Ríos permanentes de montaña, volcánicos, cuencas medianas, con pendientes altas, valles confinados y parcialmente confinados.
3	Ríos permanentes de montaña, volcánicos, cuencas medianas, con pendientes medias, valles parcialmente confinados y confinados.
4	Ríos permanentes de montaña, volcánicos, cuencas medianas, con pendientes bajas, valles parcialmente confinados.
5	Ríos permanentes de montaña, volcánicos, cuencas medianas, con pendientes medias, valles parcialmente confinados y confinados.
6	Ríos permanentes submontanos, sedimentarios, cuencas medianas, con pendientes medias, valles confinados y no confinados.
7	Ríos permanentes submontanos, sedimentarias, cuencas grandes, con bajas pendientes, valles confinados y no confinados.
8	Ríos permanentes en tierras bajas, sedimentarias, cuencas grandes, con bajas pendientes, valles no confinados.
9	Ríos temporales de montaña, volcánicos, cuencas pequeñas, pendientes muy altas, valles confinados y parcialmente confinados.
10	Ríos temporales submontanos, geología volcánica y sedimentaria, cuencas pequeñas, pendientes media, valles parcialmente confinados y confinados.
11	Ríos temporales de montaña, volcánicos, cuencas pequeñas, pendientes medias, valles parcialmente confinados y confinados.
12	Ríos temporales de montaña, volcánicos, cuencas medianas, pendientes medias, valles confinados y parcialmente confinados.
13	Ríos temporales submontanos, sedimentarios, cuencas medianas, pendientes medias, valles confinados y parcialmente confinados.

### Descripción de los tipos de ríos identificados en la red fluvial

A continuación se describen las características principales que presentan los segmentos fluviales que integran a cada uno de los tipos de ríos diferenciados.

- Tipo 1. Ríos perennes de montaña, volcánicos, cuencas pequeñas, con pendientes muy altas, valles confinados.  
En este tipo se incluye un conjunto de ríos con pendientes >4 por ciento, en un gradiente altitudinal promedio de  $1523.5 \pm 361$  m s. n. m. y de

geología volcánica (rocas ígneas extrusivas). Las cuencas vertientes por las que discurren estos ríos son pequeñas ( $108.5 \pm 50 \text{ km}^2$ ) y en valles confinados. Son ríos de baja sinuosidad ( $C_s = 1.2$ ) y la granulometría del sustrato del lecho es gruesa, formada principalmente por bolos, cantos y grandes bloques. Agrupa a los segmentos de corrientes tributarios de los ríos Ayuquila, Armería y Tuxcacuesco (fig. 2.10).

**Figura 2.10:** Ejemplos de los ríos de tipo 1, tributarios del río Ayuquila



Arroyo San Juan Cacoma [altitud 1706 m].



Arroyo Manantlán [altitud 1180 m].

- Tipo 2. Ríos perennes de montaña, volcánicos, cuencas medianas, con pendientes altas, valles confinados y parcialmente confinados.

En este tipo se agrupa un conjunto de segmentos fluviales que presenta características muy similares al tipo 1 en cuanto a altitud y geología, pero se diferencia por presentar pendientes altas ( $>2-4\%$ ), pero más bajas que el grupo anterior. Estos segmentos presentan un gradiente altitudinal promedio de  $1602 \pm 348 \text{ m s. n. m.}$  y con cuencas vertientes medianas, aunque se puede encontrar segmentos de cuencas pequeñas ( $145 \pm 85 \text{ km}^2$ ) en valles confinados y parcialmente confinados. Son ríos de baja sinuosidad ( $C_s = 1.3\%$ ) y el sustrato del lecho está formado por bolos y cantos. Los ríos segmentos corresponden a corrientes tributarias de los ríos Ayuquila y Tuxcacuesco (fig. 2.11).

- Tipo 3. Ríos perennes de montaña, volcánicos, cuencas medianas, con pendientes medias, valles parcialmente confinados y confinados.

Las características de los segmentos de este grupo son muy similares a las del tipo 2 en relación con su régimen fluvial perenne, altitudes elevadas ( $1273 \pm 195 \text{ m s. n. m.}$ ), la presencia de geologías volcánicas y cuen-



cas vertientes medianas ( $310 \pm 263 \text{ km}^2$ ). Pero a diferencia del tipo 2, estos segmentos tienen pendientes longitudinales medias, con valores que van entre 1–2 por ciento. Se encuentran en valles parcialmente confinados y confinados. En general, son ríos de baja sinuosidad ( $C_s = 1.4\%$ ) y el sustrato del lecho está formado por cantos y bolos. Agrupa a los tramos de los cauces del río Ayuquila y Tuxcacuesco (fig. 2.12).

**Figura 2.11:** Ejemplos de los ríos de tipo 2, ríos perennes de montaña con altas pendientes.

Arroyos tributarios de los ríos Ayuquila y Tuxcacuesco



Arroyo La Yerhabuena (altitud 1160 m).



Arroyo Hondo (altitud 1280 m), subcuenca del río Tuxcacuesco.

**Figura 2.12:** Ejemplos de los ríos de tipo 3, ríos perennes de montaña con pendientes moderadas. Arroyos tributarios de los ríos Ayuquila y Tuxcacuesco



Arroyo La Pichitota (altitud 875 m), tributario del río Tuxcacuesco.



Río Los Guajes (altitud 1540 m), tributario del río Ayuquila.

- Tipo 4. Ríos perennes de montaña, volcánicos, cuencas pequeñas, con pendientes bajas, valles parcialmente confinados.

Este grupo comparte características similares con los grupos 2 y 3, en relación con su régimen fluvial perenne, situados en zonas montañosas, la presencia de geologías volcánicas y cuencas vertientes medianas, que para el caso del tipo 4 es de  $352 \pm 254 \text{ km}^2$ , y una altitud promedio de  $1286 \pm 178 \text{ m s. n. m.}$ ). La diferencia del tipo 4 con los dos grupos anteriores es que este grupo de segmentos fluviales tiene pendientes bajas, con valores menores al 1 por ciento. Estos segmentos fluviales se encuentran en valles parcialmente confinados. Son segmentos de baja sinuosidad ( $C_s = 1.33$ ) y el sustrato del lecho está formado predominantemente por cantos. En el tipo 4 han quedado incluidos cuatro segmentos del río Ayutla, que corresponden a segmentos de cabecera de la cuenca) (fig. 2.13).

**Figura 2.13:** Segmentos fluviales del tipo 4, ríos perennes de montaña con bajas pendientes. Arroyos tributarios y cauce principal del río Ayuquila



Arroyo San Antonio1 [altitud 1270 m], tributario del río Ayuquila.



Río Atengo4 [altitud 1390 m].

- Tipo 5. Ríos perennes de montaña, volcánicos, cuencas medianas, con pendientes medias, valles parcialmente confinados.

Este grupo incluye segmentos fluviales ( $N = 4$ ) que forman el cauce del río Ayutla (nombre que recibe el río Ayuquila en la cabecera de la cuenca), en la parte alta de la cuenca del río Ayuquila. Los segmentos se ubican en altitudes promedio de  $1223 \pm 70 \text{ m s. n. m.}$  y cuencas medianas ( $1521 \pm 553 \text{ km}^2$ ), con una pendiente longitud cuyos valores oscilan entre una pendiente media y alta ( $1.5 \pm 1.3 \%$ ); son segmentos de baja sinuosidad ( $C_s = 1.4 \%$ ), que presentan valles parcialmente confinados, aunque uno de los segmentos tiene un valle confinado, con sustratos do-

minados por cantos (figura 2.14). A pesar de que el tipo 5 mantiene varias características similares a las del tipo 3, se ha decidido agruparlo en una tipología diferente tomando como criterio que agrupa un conjunto de segmentos del tramo de cabecera del río principal, y que tiene segmentos que muestran valores de alta pendiente, aunque en promedio mantiene una pendiente media, debido a la variabilidad de la longitud que presentan los segmentos.

**Figura 2.14:** Segmentos fluviales del tipo 5, cauce principal del río Ayuquila en la porción alta de la cuenca.  
Río Ayutla1-1 (altitud 1130 m)



- Tipo 6. Ríos perennes submontanos, sedimentarios, cuencas medianas, con pendientes medias, variabilidad de tipo de valles.  
Segmentos perennes en altitudes promedio más bajas que los grupos anteriores ( $676 \pm 241$  m s. n. m.), que se han denominado submontanos. Son de geología sedimentaria, cuencas medianas ( $201.5 \pm 155.8$  km<sup>2</sup>) con pendientes medias ( $1.5 \pm 0.4$  %), que presentan diferentes tipos de valles, siendo en proporción los valles parcialmente confinados los más frecuentes. Son segmentos de baja sinuosidad ( $C_s = 1.2 \pm 0.3$ ) y el sustrato do-

minado por cantos. En este grupo se integran los segmentos de corrientes tributarias de los ríos Armería y Tuxcacuesco (fig. 2.15).

**Figura 2.15:** Segmentos fluviales del tipo 6, ríos perennes, altitudes submontañosas, geología sedimentaria, cuencas pequeñas y pendientes moderadas



Arroyo San Palmar (altitud 674 m), cauce tributario del río Armería.

Río Ejutla (altitud 960 m), tributario del río Tuxcacuesco.

- Tipo 7. Ríos perennes submontanos, sedimentarias, cuencas grandes, con bajas pendientes, variabilidad de tipos de valles.

En este tipo se ha incluido un conjunto de ríos perennes de altitudes submontañosas ( $698 \pm 189$  m s. n. m.), de geología sedimentaria, aunque se encuentran geologías volcánicas que tienen cuencas grandes ( $4703 \pm 2706$  km<sup>2</sup>), con pendientes bajas ( $0.4 \pm 0.3$ ). Estos segmentos tienen valles parcialmente confinados y confinados y son de baja sinuosidad ( $1.3 \pm 0.3$ ). Estos segmentos presentan una gran variabilidad de sustratos desde arenas, gravas, guijarros y cantos. En este tipo se agrupan 21 segmentos que corresponden a los cauces principales de los ríos principales Ayuquila, Tuxcacuesco y Armería. Este grupo tiene algunas características similares al grupo anterior (tipo 6), pero a diferencia de aquellos, estos segmentos tienen cuencas grandes, bajas pendientes y una variabilidad de sustratos (fig. 2.16, véase tabla 2.3).

- Tipo 8. Ríos perennes en tierras bajas, sedimentarias, cuencas grandes, con bajas pendientes, valles no confinados. Segmentos fluviales perennes en bajas planicies con altitudes promedio de  $86 \pm 63$  m s. n. m., geología sedimentaria, que agrupan a los segmentos con cuencas de gran tamaño ( $9516 \pm 249$  km<sup>2</sup>), con pendientes bajas ( $0.5 \pm 0.2$  %). Este grupo está in-

tegrado por segmentos fluviales con cauces trenzados que se encuentran en valles no confinados. El sustrato de estos segmentos está dominado por guijarros, gravas y arenas. Se incluyen en este grupo los segmentos fluviales del río Armería cercanos a la desembocadura (fig. 2. 17).

**Figura 2.16:** Segmentos fluviales del tipo 7, que incluye a los cauces principales de los ríos Tuxcacuesco, Ayuquila y Armería



Río Armería 7 (altitud 474 m).



Río Armería 11 (altitud 680 m).

**Figura 2.17:** Segmento fluvial de tipo 8, que corresponde a los tramos bajos del río Armería, aproximadamente a 15 km de la desembocadura en el océano Pacífico. Río Armería2 (altitud 80 m), segmento fluvial del río Armería



- Tipo 9. Ríos temporales de montaña, volcánicos, cuencas pequeñas, pendientes muy altas, valles confinados y parcialmente confinados.

También ríos temporales, altitudes montañosas ( $1260 \pm 169$  km<sup>2</sup>), de geología volcánica con rocas ígneas extrusivas, cuencas pequeñas ( $61 \pm 39$  km<sup>2</sup>), con pendientes muy altas ( $4.2 \pm 1.8$  %). Este grupo tiene segmentos fluviales con valles confinados y parcialmente confinados de baja sinuosidad ( $C_s = 1.2 \pm 0.08$ ) y sustrato dominado por bolos y cantos. Estos segmentos corresponden a corrientes tributarias en la porción media de los ríos Tuxcacuesco, Ayuquila y Armería (fig. 2.18).

**Figura 2.18:** Segmento fluvial de tipo 9, arroyo temporal [o intermitente] tributario del río Ayuquila Arroyo El Salatillo (altitud 1110 m).



- Tipo 10. Ríos temporales submontanos, sedimentarios y graníticos, cuencas pequeñas, pendientes altas, valles parcialmente confinados y confinados.

Ríos temporales en altitudes submontañosas ( $847 \pm 130$  m), con geologías sedimentarias y volcánicas de tipo ígneas intrusivas (graníticas), cuencas pequeñas ( $82 \pm 130$  km<sup>2</sup>), con pendientes muy altas ( $4.4 \pm 0.5$  %). Los tipos de valle que presentan estos segmentos son parcialmente confinados y confinados, y de baja sinuosidad ( $C_s = 1.2 \pm 0.5$ ), con sustratos dominados por cantos. Los segmentos agrupados en esta tipología corres-

ponden a corrientes tributarias del río Armería en la porción baja de la cuenca (fig. 2.19).

**Figura 2.19:** Segmento fluvial de tipo 10, arroyos temporales (o temporales) tributarios de los ríos Armería y Ayuquila



Arroyo El Remate (altitud 914 m), tributario del río Armería.



Arroyo Cerro Blanco (altitud 920 m), tributario del río Armería.

**Figura 2.20:** Segmento fluvial de tipo 11, arroyos temporales tributarios del río Tuxcacuesco



Arroyo Hondo (altitud 1280 m).



Arroyo Las Juntas2 (altitud 810 m).

- Tipo 11. Ríos temporales de montaña, volcánicos, cuencas medianas, pendientes bajas, valles parcialmente confinados y confinados.

Ríos temporales, altitudes montañosas ( $1077 \pm 233$  m), geología volcánica de tipo ígnea extrusiva, con cuencas de tamaño mediano, aunque hay segmentos con tamaños de cuenca pequeños con una variación importante en el grupo ( $132 \pm 93$  km<sup>2</sup>). Los valores promedio de la pendiente son bajos, aunque hay segmentos que alcanzan valores de pendiente

media ( $0.9 \pm 0.7\%$ ). El tipo de valle que presenta este grupo de segmentos es parcialmente confinado y confinado, con baja sinuosidad ( $C_s = 1.2 \pm 0.15$ ) y sustrato formado principalmente por cantos, y en algunos segmentos encontramos guijarros. En este tipo se incluyen segmentos de corrientes tributarias principalmente del río Ayuquila (fig. 2.20).

- Tipo 12. Ríos temporales de montaña, volcánicos, cuencas medianas, pendientes medias, valles confinados y parcialmente confinados.

Este grupo de segmentos fluviales de régimen temporal se encuentra en zonas montañosas ( $1045 \pm 129$  m) de geologías volcánicas de tipo rocas ígneas extrusivas, y solo un segmento presenta rocas sedimentarias. Las cuencas vertientes son de tamaño mediano ( $773.2 \pm 146$  km<sup>2</sup>), la pendiente de estos segmentos es media ( $1.4 \pm 0.2$ ) y los valles son confinados y parcialmente confinados, que presentan baja sinuosidad ( $C_s = 1.4 \pm 0.3$ ). El sustrato está formado por grandes bloques y bolos. En este tipo se han incluido los segmentos del río Jiquilpan, importante tributario del río Tuxcacuesco (fig. 2.21).

**Figura 2.21:** Segmento fluvial de tipo 12, tributario del río Tuxcacuesco. Arroyo Jiquilpan2 (altitud 960 m)



- Tipo 13. Ríos temporales submontanos, sedimentarios, cuencas medianas pequeñas, pendientes medias, valles confinados.



Ríos temporales, con altitudes submontañosas, de geología sedimentaria, cuencas medianas ( $475 \pm 65 \text{ km}^2$ ) y pendientes medias ( $1.8 \pm 1 \%$ ). Estos segmentos tienen valles confinados y uno de los tres segmentos tiene un valle parcialmente confinado. La sinuosidad es baja ( $C_s = 1.1 \pm 0.06$ ) y el sustrato, formado por cantos. En este tipo han quedado incluidos arroyos tributarios del río Armería en su tramo bajo (fig. 2.22).

**Figura 2.22:** Segmento fluvial tipo 13, arroyo tributario del río Armería Arroyo Seco - Coquimatlán (altitud 400 m)



## Conclusiones

El análisis presentado en este capítulo representa una aportación metodológica que permite caracterizar y clasificar la variabilidad física de los segmentos fluviales dentro de la cuenca del río Ayuquila-Armería, existente a diferentes escalas espaciales; desde la región geográfica, pasando por la cuenca hidrográfica, el segmento fluvial y el hábitat fluvial, y basada en los factores hidromorfológicos que tienen mayor influencia en las comunidades biológicas fluviales (Frissell y Bayles 1996, Brierley y Fryirs 2005, González del Tánago y García de Jalón 2006b, Harvey *et al.* 2008, Fryirs y Brierley 2013).

La ubicación de la cuenca en la transición de dos provincias fisiográficas (Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur) y tres subprovincias (Sierra de Jalisco, Volcanes de Colima y Sierra de la Costa de Jalisco y Colima), origi-

na una alta heterogeneidad de condiciones climáticas, geológicas y topográficas, generando un conjunto de variables muy diversas en las cuales se ha fundamentado la clasificación. Con este enfoque metodológico jerárquico se ha caracterizado un conjunto de 119 segmentos fluviales, los cuales han quedado clasificados en 13 tipologías diferentes, que en primer término se han agrupado atendiendo a su régimen hidrológico en segmentos fluviales permanentes o temporales presentes dentro de una misma región fisiográfica. En segundo término, la altitud promedio del segmento permite distinguir ríos de montaña, submontanos y de tierras bajas o planicies. En tercer término, la geología de la cuenca vertiente dominada por rocas de origen volcánico y de origen sedimentario, junto a la variable del tamaño de cuenca vertiente, permite una mayor diferenciación de grupos de segmentos fluviales aportando información acerca de las dimensiones del río y orden de magnitud de sus caudales. El tipo de valle es una característica muy distintiva para ciertos tipos de segmentos, con una clase de sinuosidad relacionada al tipo de confinamiento del valle. Así, encontramos los tramos fluviales del tipo 3 y tipo 5, ubicados en zonas de montaña, con pendientes medias y cuencas medianas que discurren por valles parcialmente confinados y confinados y tienen alta sinuosidad. A escala de hábitat fluvial (tramo fluvial) la granulometría del sustrato determinada en gran medida por la geología es una variable que complementa y afina la clasificación de los segmentos fluviales en la cuenca.

De esta forma, un análisis general de las tipologías presentes en la cuenca muestra que en la zona de cabecera del río principal Ayuquila-Armería y afluentes ubicados en las zonas de montaña en altitudes por arriba de los 1 000 m, es posible reconocer un conjunto de tipologías que corresponden a segmentos fluviales permanentes, vinculadas a cuencas vertientes pequeñas de pendientes muy altas (tipo 1, por ejemplo; arroyo San Juan Cacoma y arroyo Manantlán) y cuencas que alcanzan tamaños medios con segmentos que mantienen pendientes altas (tipo 2, por ejemplo, arroyo La Yerbabuena y arroyo Hondo), o que van descendiendo a valores de pendiente media (tipo 3, por ejemplo, arroyo La Pichitota y río Los Guajes; y tipo 5, por ejemplo, río Ayutla 1-1) y bajas (tipo 4, por ejemplo: arroyo San Antonio y río Atengo 4). Estas tipologías presentan una variación en los tipos de valles, los cuales pueden estar confinados o parcialmente confinados.

En la porción media del río principal se observan tipologías que corresponden a geologías sedimentarias; son segmentos fluviales del río principal

y afluentes ubicados en altitudes submontañosas con cuencas de tamaño mediano y pendiente media (tipo 6, por ejemplo, arroyo San Palmar y río Ejutla), y cuencas grandes y pendientes bajas (tipo 7, por ejemplo, río Armería7 y Armería11), existiendo una variabilidad de tipos de valles presentes, desde confinados hasta valles abiertos, pasando por aquellos parcialmente confinados. Esta tipología se extiende también a la zona baja de la cuenca.

En la porción baja del río principal se distingue un grupo de tipologías de segmentos del cauce principal del río Armería y de segmentos de corrientes temporales tributarias, todas de geología sedimentaria. El tipo 8 (por ejemplo, río Armería 2) representa una parte importante de la zona baja, agrupando segmentos de cuenca grandes y pendientes bajas. A partir de esta zona donde comienza a dar paso a un valle abierto, se encuentran segmentos fluviales en altitudes más bajas que el tipo 7, con cuencas vertientes grandes y pendientes bajas que van descendiendo hasta la desembocadura del río Armería. Aquí también se encuentran los ríos temporales que descienden de la vertiente este y oeste de la cuenca, y que se caracterizan por presentar también geologías sedimentarias, segmentos de altas pendientes vinculadas a cuencas pequeñas (tipo 10, por ejemplo: arroyo El Remate y arroyo Cerro Blanco) o cuencas medianas de pendiente media (tipo 13, por ejemplo: arroyo Seco-Coquimatlán).

Este trabajo de definición a mayor detalle de las características de los segmentos fluviales de la red fluvial Ayuquila-Armería y sus respectivas cuencas vertientes aporta y profundiza en los trabajos previos de caracterización hidromorfométrica de la cuenca (Meza 2006, Olguín 2008). Así también, este estudio es un aporte metodológico a las recientes iniciativas de gestión de los recursos hídricos en México, por ejemplo, el Programa Hídrico Nacional 2010-2030 (Conagua 2011) y las nuevas normativas en temas como la evaluación del caudal ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012), dada la posibilidad que brinda esta metodología de comparar los tipos de ríos diferenciados en Ayuquila-Armería con otras cuencas del país cuando estos responden a unas mismas variables de caracterización, por ejemplo, dentro de las regiones fisiográficas de este estudio y otras regiones del país, permitiendo la consideración de tramos de referencia procedentes de unas cuencas para su aplicación en otras y facilitando el establecimiento de condiciones hidromorfológicas de referencia para los respectivos tipos fluviales, con diversos objetivos.

De hecho, la caracterización de las propiedades geomorfológicas, hidrológicas y ecológicas de los ríos es una línea de investigación que ha cobrado enorme interés en los estudios que se desarrollan en los ecosistemas fluviales, sobre todo en lo que respecta a la legislación ambiental internacional (Harvey *et al.* 2008), por ejemplo la Directiva Marco del Agua que tiene como objetivos la protección y mejora del estado ecológico de los cuerpos de agua en Europa. Diversos trabajos reconocen la aportación del enfoque de caracterización y clasificación jerárquica para la definición de tipos de ríos y el reconocimiento del funcionamiento ecológico en sus respectivas cuencas vertientes, que brinda las bases para desarrollar estrategias de gestión y conservación de los ríos de acuerdo con las diferentes tipologías, de tal manera que sean más efectivas (Frissell *et al.* 1986, Brierley y Fryirs 2005, González del Tánago y García de Jalón 2006b).

# La vegetación ribereña en la cuenca del río Ayuquila-Armería

## Introducción

Los bosques de ribera son un componente integral de los ríos, tienen gran importancia ecológica y prestan numerosos servicios ecosistémicos. Estas funciones justifican la relevancia de definir las características de este tipo de comunidades de vegetación y analizar las condiciones hidromeomorfológicas y antrópicas que las definen, siendo la temática central que se aborda en este capítulo. Por ello, en la introducción se abordan tres temas esenciales: la importancia de la vegetación ribereña en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas fluviales, el contexto de la vegetación en los ríos de México y el aporte científico que representa este estudio al conocimiento de estas comunidades de vegetación en México y en la cuenca de estudio.

### *Importancia de la vegetación ribereña en el paisaje fluvial*

La configuración de las riberas se da a través de múltiples procesos e interacciones entre los componentes acuáticos y terrestres del paisaje (Gregory *et al.* 1991). Estas interacciones son cruciales para la preservación de la biodiversidad del río (Naiman y Décamps 1997, Naiman *et al.* 2000) y el mantenimiento de servicios ecosistémicos (Sweeney *et al.* 2004). Entre los componentes del paisaje fluvial se encuentran las comunidades de vegetación ribereña, que representan la interfaz entre los ecosistemas terrestres y acuáticos (Naiman *et al.* 2000), y debido a su proximidad e interacción con las corrientes de agua, están adaptadas a las inundaciones periódicas (Tabacchi *et al.* 1996) y tienen resistencia a la energía de los caudales, además del intercambio de nutrientes del cauce con las riberas y laderas contiguas. La importancia de la vegetación de la ribera se refleja en múltiples funciones, como: mantener la biodiversidad, por ejemplo anfibios y reptiles semiacuáticos (Sá-Sousa 2008), peces (Jones *et al.* 1999, Pusey y Arthington 2003), aves (Pusey y Arthington 2003, Roché y Frochot 2008) y mamíferos (Spackman

y Hughes 1995, Mira 2008; favorecer la infiltración de agua y la recarga de acuíferos mediante sus sistemas radicales; laminar los caudales punta de sus avenidas mediante su inundación, atenuando los daños de las crecidas y disminuyendo los riesgos hidrológicos (Horn y Richards 2006); actuar como filtro del exceso de los nutrientes y contaminantes procedentes de la agricultura (Calle *et al.* 2013 ); y dar cohesión y estabilidad al suelo de márgenes y orillas, manteniendo el equilibrio en los procesos de erosión, transporte, depósito y sedimentación en los hábitats fluviales (Gurnell y Petts 2002, Gurnell *et al.* 2006, Gregory *et al.* 2003, Naiman *et al.* 2005). Además, se reconoce el papel que tienen las riberas para la recreación y el turismo (Malanson 1993, Naiman *et al.* 2005, Dufour y Piégay 2009) y en el soporte de valores escénicos y paisajísticos.

La formación leñosa de la vegetación de ribera constituye frecuentemente bosques de galería, compuestos por comunidades con una alta heterogeneidad fisonómica a lo largo de toda la red fluvial (Rzedowski 1978, Geerling *et al.* 2006). Esta asociación de especies se desarrolla en la zona hidrológicamente conectada que es influida por la dinámica fluvial y, a su vez, influye en la morfología fluvial. Se trata de una vegetación particular que corresponde al ecotono entre el ecosistema terrestre y acuático, por tanto tiene características de estructura y funcionamiento diferentes a las de los bosques circundantes.

A escala de territorio, los aspectos que condicionan las formaciones de vegetación de ribera además de los factores hidrogeomorfológicos son los gradientes climáticos y topográficos. En conjunto, estos factores controlan las características de la vegetación ribereña, incluyendo su diversidad y sus propiedades estructurales y funcionales, y permiten establecer una zonación longitudinal de la vegetación riparia de la cabecera a la desembocadura del río (Gregory *et al.* 1991, Tabacchi *et al.* 1996, Ward *et al.* 2002, Lite *et al.* 2005). Esta heterogeneidad es resultado de la interacción del régimen hidrológico y las condiciones geomorfológicas del ecosistema ribereño (Naiman *et al.* 1993, Hughes 1997), mostrando una gran heterogeneidad espacial y temporal en sus dimensiones longitudinal (Tabacchi *et al.* 1990, 1996, 1998) y transversalidad (Van Pelt *et al.* 2006). La influencia de estas condiciones hidrogeomorfológicas sobre la vegetación es recíproca (Tabacchi *et al.* 1998, Corenblit *et al.* 2007, 2008), ya que el agua provee el transporte de semillas y estructuras vegetativas y proporciona la humedad, saturación del suelo y nutrientes que favorecen la germinación y establecimiento de diversas especies, y limita

la regeneración de otras por saturación o anoxia (Tabacchi *et al.* 1998, Gurnell *et al.* 2006, Corenblit *et al.* 2007, 2008). Al mismo tiempo, las inundaciones remueven el sustrato, transportan y depositan el sedimento, creando superficies que proporcionan condiciones ideales para la regeneración de especies pioneras (Stromberg *et al.* 1997, Stromberg 1998, Cooper *et al.* 1999, 2003, Polzin y Rood 2006) y transformando al mismo tiempo otros hábitats, arrasando o enterrando la vegetación ya establecida (Stromberg *et al.* 1997, 1998), modificando con esto la estructura del bosque ribereño.

### ***La vegetación ribereña en México***

En México, a diferencia de otras regiones del mundo, los ecosistemas acuáticos y ribereños han recibido poca atención en cuanto al conocimiento de su biodiversidad y estado de conservación (Olmsted 1993, Getzner 2001, Sánchez 2007). Actualmente, estas comunidades vegetales se encuentran muy degradadas, de manera que es difícil encontrarlas en buen estado de conservación (Sánchez 1986). Se estima que 45 por ciento de los ecosistemas ribereños se encuentran potencialmente muy alterados en México (Garrido *et al.* 2010) debido a un conjunto de actividades antrópicas como cambio de uso de suelo, contaminación puntual, extracción de materiales pétreos del lecho de los ríos, construcción de infraestructura, invasiones de zonas federales, la canalización de los ríos, el pastoreo de ganado y descargas de aguas residuales domésticas, industriales y de granjas.

En México, la vegetación ribereña o *bosque de galería* (según Rzedowski 1978) se distribuye en un rango altitudinal muy amplio; entre 0 y 2 800 m. Estas comunidades de vegetación están formadas generalmente por árboles de hoja perenne, decidua o semidecidua (Rzedowski 1978), que en muy pocas ocasiones forman masas puras dominadas por una sola especie (Sánchez 1986). En cambio, se trata de asociaciones de especies provenientes de los diferentes tipos de vegetación dominantes en el paisaje de la cuenca (Rzedowski 1978, Santana-Michel *et al.* en prensa). Los géneros *Astianthus*, *Salix*, *Ficus*, *Alnus* y *Fraxinus* son elementos dominantes en la vegetación de galería en México y se encuentran ampliamente distribuidos en todo el país (Rzedowski 1978, Pennington y Sarukhán 2005). Otros géneros predominantes en las riberas, aunque no reconocidos como especies estrictamente riparias y que comúnmente provienen de la vegetación climatófila, más propios de las regiones calientes y más o menos húmedas del país, son *Enterolobium*,

*Guazuma* y *Pithecellobium* (Rzedowski 1978). Diversos arbustos juegan un rol importante en estas comunidades, y a menudo, en ausencia de árboles, asumen el papel de dominantes, formando matorrales que pueden ser densos o espaciados, de uno a dos metros de alto y generalmente perennifolios. Algunos de los géneros más frecuentemente encontrados son: *Acacia*, *Baccharis*, *Heimia*, *Mimosa*, *Piper* y *Pluchea* (Rzedowski, 1978).

El estudio de la composición y estructura de la vegetación riparia se ha abordado por varios trabajos desarrollados en diferentes regiones del país. En los ríos Cabezones y Ramos, una región con clima seco en el norte de México, Treviño *et al.* (2001) encontró comunidades de vegetación riparia sin la dominancia clara de alguna especie arbórea, afectadas en su continuidad longitudinal por el cambio de uso de suelo, principalmente el incremento de las áreas agrícolas. Por el contrario, Camacho-Rico *et al.* (2006) en la cuenca del río Tembembe, en la región centro del país, con clima cálido a templado subhúmedo, distingue grupos florísticos con la dominancia de una o dos especies, cuya distribución está asociada al gradiente altitudinal de la zona; por ejemplo, *Alnus acuminata* en la parte alta de la cuenca (altitudes de 1650 m s. n. m.) *Trema micrantha* en la parte media (1340-1640 m s. n. m.), y en la parte baja, *Daphnopsis salicifolia*. En el sur del país, Pérez *et al.* (2001) en el río Tehuantepec, reportan un bosque de galería muy fragmentado, donde permanecen árboles aislados de *Astianthus viminalis* asociados a otro reducido número de especies. Los autores concluyen que los fragmentos remanentes de esta comunidad de vegetación permiten suponer que se trataba de una comunidad continua pero estrecha, restringida al borde del río y cuyo dosel más o menos abierto alcanzaba una altura de 15 m, siendo el pastoreo del ganado una de las principales presiones en este río.

En resumen, los estudios sobre la composición y estructura de la vegetación ribereña son escasos en México, y los pocos que existen se han realizado en regiones fisiográficas distintas, lo que dificulta las comparaciones o el análisis de tendencias respecto a la riqueza, diversidad y estructura de la comunidad.

### ***La vegetación ribereña en la cuenca del río Ayuquila-Armería***

La ubicación de la cuenca del río Ayuquila-Armería en dos importantes unidades fisiográficas (Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur) genera alta



heterogeneidad ambiental con una marcada variación altitudinal y relieve accidentado del terreno. La diversidad de comunidades de vegetación que alberga la cuenca es un reflejo de esa diversidad ambiental, con la existencia de bosques templados y subtropicales de montaña (que incluye a los bosques de *Abies*, *Cupressus* y mesófilo de montaña, y a los bosques de pino, encino y pino-encino) en altitudes más elevadas de la cuenca, hasta bosques tropicales caducifolios y subcaducifolios en las regiones más bajas de la cuenca con menores precipitaciones. Los bosques de galería presentes a lo largo de estos gradientes ambientales muestran una alta heterogeneidad en composición y diversidad; se caracterizan por la presencia de especies como *Salix humboldtiana*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Tabebuia donnell-smithii*, *Pithecellobium dulce* y *Tabebuia rosea* (Vázquez *et al.* 1995, Allen *et al.* 2010, Santana-Michel *et al.* en prensa). Estas comunidades de vegetación riparia están limitadas por las presiones antrópicas, particularmente las actividades agrícolas de riego en los valles abiertos, concentrados en la cuenca media y baja del río Ayuquila-Armería.

La riqueza florística acuática y ribereña del río Ayuquila ha sido documentada a lo largo de varios años y la última integración se encuentra en Santana-Michel *et al.* (en prensa). Otros trabajos se han enfocado en el estudio de la composición y estructura de la vegetación leñosa ribereña (Allen *et al.* 2010) y su relación con el uso y manejo que los agricultores y ganaderos realizan en las riberas (Ortiz-Arrona *et al.* 2008), con el objetivo de proponer un conjunto de especies nativas apropiadas ecológicamente y aceptadas socialmente para los programas de reforestación en la región (Ortiz-Arrona *et al.* 2018), entre otros aspectos. Estos trabajos muestran que la vegetación ribereña se ha reducido y fragmentado debido principalmente a la deforestación para usos agrícolas y pastoreo de ganado (Ortiz-Arrona *et al.* 2008). Otros factores son la alteración del flujo hidrológico por el almacenamiento, canalización y derivación del agua para riego agrícola, y la modificación del trazado natural del río (Martínez *et al.* 2000), así como dragados frecuentes del lecho del río y elevación de las orillas del cauce, desconectándolo de las riberas y limitando la dinámica hidrológica y ecológica del sistema fluvial.

Todas estas investigaciones se han centrado en la parte media del río Ayuquila-Armería, por lo que existe un gran desconocimiento de la riqueza florística y características ecológicas que mantienen estas comunidades de ve-

getación ribereña en los tramos de cabecera y tramos bajos del río, así como en los principales ríos tributarios.

El aporte de este capítulo se centra en la ecología y funcionamiento de las comunidades de vegetación ribereña en México, definiendo y caracterizando las formaciones presentes en el paisaje fluvial del río Ayuquila-Armería con base en su composición y estructura, y analizando los factores hidrogeomorfológicos que determinan tales asociaciones florísticas ribereñas. Finalmente, permitirá identificar especies sensibles y de interés para la conservación y restauración de las comunidades de vegetación riparia.

Esta caracterización se aborda a escala de cuenca hidrológica a través del estudio de tramos fluviales que representan la variabilidad de tipologías de ríos presentes en la cuenca del río Ayuquila-Armería.

## Metodología

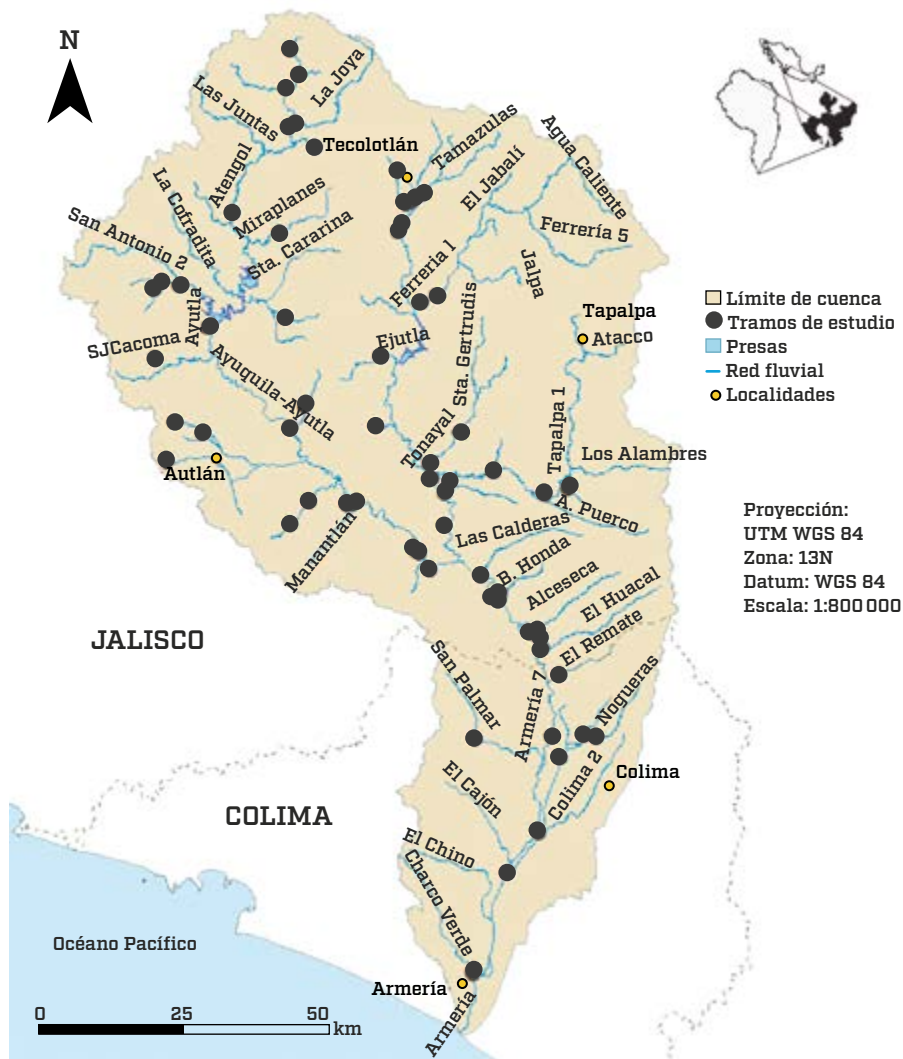
### *Selección de los tramos fluviales de estudio*

Esta investigación se realizó en toda la cuenca a partir de la selección de 70 tramos fluviales representativos de la variabilidad tipológica de los segmentos fluviales presentes en la red hidrológica del río Ayuquila-Armería.

Los tramos fluviales de estudio representan una escala de análisis más pequeña dentro de los segmentos fluviales que previamente se han diferenciado en la red fluvial de la cuenca (Capítulo 2 de este libro). La longitud del tramo de estudio es de 500 m a lo largo de la banda de vegetación ribereña, y transversalmente incluye la anchura del espacio ribereño ocupado por la vegetación ribereña desde la orilla del cauce, según el tipo de valle.

De la totalidad de los tramos de estudio, 25 corresponden a las riberas de los ríos principales Ayuquila-Armería y Tuxcacuesco y los 45 tramos restantes a los principales tributarios (mapa 3.1). La ubicación de los tramos fluviales de muestreo en campo se realizó usando el mapa Google Earth 2009 y 2010 versión gratuita, teniendo en consideración la accesibilidad y seguridad de acceso al sitio. En este estudio se tomó como criterio evitar los tramos fluviales visiblemente muy alterados.

**Mapa 3.1:** Tramos fluviales de estudio en la cuenca del río Ayuquila-Armería

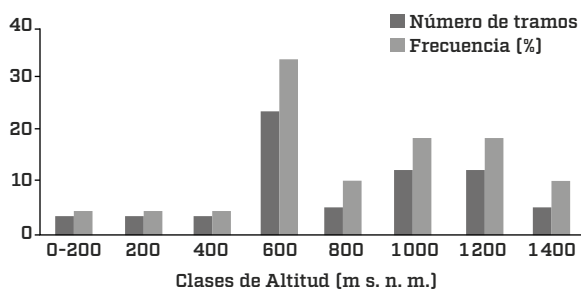


***Características hidromorfológicas de los tramos fluviales de estudio de la vegetación***

De los 70 tramos fluviales de estudio, 55 (75.5 %) presentan un régimen de caudales permanente y los restantes 15 son temporales según la información

contenida en el mapa digital de la red fluvial, que fue verificada en campo y corregida en algunos casos. Los tramos se ubican en un rango altitudinal que va de 12 a 1 600 m; dicho gradiente se ha dividido en ocho clases altitudinales, con una amplitud de 200 m (figura 3.1). Del total, el 31 por ciento de los tramos se ubica en el rango altitudinal de 600 a 800 m, mientras que en el rango altitudinal entre 1 y 400 m se tiene el menor número de tramos de muestreo. La mayoría de los segmentos se encuentran en valles parcialmente confinados (38), seguidos por aquellos segmentos que discurren por valles confinados (28) y solo cuatro que presentan valles abiertos. La geología predominante es roca ígnea extrusiva (Íg. e.) presente en 36 tramos, seguida por rocas sedimentarias en 25, y los 9 restantes corresponden a rocas ígneas intrusivas (Íg. i.).

**Figura 3.1:** Distribución de los tramos de muestreo [N = 70] y su frecuencia relativa [%] en las ocho clases de altitud [m s. n. m.] definidas



### ***Diseño del muestreo de la vegetación ribereña y toma de datos***

La segunda etapa del estudio fue el muestreo en campo de la vegetación de ribera y de las condiciones ambientales a escala de tramo fluvial. Dentro de cada segmento fluvial objeto de estudio se ubicó una sección o tramo de 500 m de longitud, a lo largo de la banda de vegetación riparia. El límite (en anchura) de la franja riparia se hizo de forma visual en campo, marcado por la presencia de especies leñosas perennifolias y algunos elementos subcaducifolios característicos de este tipo de comunidad que permanecen casi siempre verdes; en un paisaje dominado por bosques tropicales caducifolios y subcaducifolios facilitó esta delimitación.

Dentro de cada tramo, se identificó a las especies leñosas presentes y se realizó una estimación visual del porcentaje de la abundancia cobertura de las diferentes especies, distinguiendo cuatro clases: 1 (<25 %), 2 (25 %-50 %), 3 (50 %-75 %) y 4 (>75 %). El muestreo se realizó de septiembre de 2009 a diciembre de 2010, período que abarcó la temporada de lluvias y toda la estación seca en la región de estudio. La identificación de especies se realizó en colaboración con Francisco J. Santana M., botánico del Herbario ZEA de la Universidad de Guadalajara y a través de la consulta de fuentes bibliográficas sobre la flora de la región y de México (Rzedowski 1978, Vázquez *et al.* 1995, Pennington y Sarukhán 2005).

### **Análisis de los datos**

*Composición, riqueza y diversidad florística.* Se realizó el listado florístico de las especies leñosas observadas y su pertenencia a diversos grupos taxonómicos (familias y especies). En los análisis de composición, riqueza y diversidad se incluyó a todas las especies, generando una matriz de 70 tramos fluviales y 102 especies. Para cada tramo de muestreo se estimó la riqueza de especies ( $S$  = número de especies) y la diversidad alfa se calculó utilizando el índice de diversidad de Shannon-Weaver y equitatividad de Pielou mediante el programa PC-ORD versión 5.10 (McCune y Grace 2002).

Así mismo, se analizó la similitud de la composición de especies de las comunidades de vegetación ribereña presentes en los diferentes rangos altitudinales de los tramos de estudio, a través del coeficiente de Jaccard ( $CJ$ ).

*Asociaciones florísticas y sus gradientes ambientales.* Para entender la gran variabilidad florística de los tramos estudiados se buscó establecer agrupaciones florísticas con base en el método de clasificación jerárquica denominado Beta flexible con un valor de  $\beta = -0.25$ , y la medida de distancia de Sorensen (Bray-Curtis), ya que conforme  $\beta$  se vuelve negativo, el método incrementa los espacios y los elementos se agrupan de manera más intensa (Moreno-Casasola *et al.* 2010). Al igual que en el análisis anterior, se incluyó a todas las especies (102) y tramos de muestreo (70) y se analizó mediante el programa PC-ORD, versión 5.10 (McCune y Grace 2002).

Los datos de cobertura-abundancia se transformaron en datos de valor de importancia relativa ( $VIR$ ) por especie:  $VIR = [(FR + CR)(2) - 1] * 100$  donde la frecuencia relativa de la especie ( $FR$ ) se definió como el número de tramos donde aparece la especie ( $Spi$ ), entre el número de tramos de muestreo.

La cobertura-abundancia relativa (CR) se consideró como la cobertura-abundancia promedio de la especie en los tramos donde aparece, dividida entre la cobertura máxima que puede alcanzar la misma especie (que en este caso es 4). De tal manera que cada grupo resultante de la clasificación jerárquica, a una distancia relativa de 60 por ciento como umbral de corte, fue denominado de acuerdo con la especie con mayor valor de importancia relativa (VIR). La relación de los patrones de distribución espacial de las 33 especies de mayor VIR de cada grupo florístico se evaluó mediante el análisis de ordenación CA, usando una matriz de 33 especies y 70 tramos de muestreo organizados en 9 grupos (Canoco para Windows 4.5).

Se determinaron los gradientes ambientales en que se distribuyen los grupos florísticos (obtenidos en la etapa anterior). Para ello se caracterizaron los segmentos fluviales definidos, además de su composición florística, con un conjunto de 18 atributos ambientales: altitud del tramo de muestreo (m s. n. m.), pendiente promedio (%), tamaño de cuenca (km<sup>2</sup>), régimen hidrológico, geología, tipo de valle y tamaño del sustrato (tabla 3.1) e índice de regulación del caudal. Con estos datos se realizó un análisis de correspondencia canónica (CCA). Sin embargo, se encontró que los 18 atributos tenían cierta correlación. Por ello, a partir del procedimiento *forward selection* (disponible en Canoco) (Ter Braak, 1990) se redujeron los atributos a solo cinco variables. Este procedimiento de selección de variables es muy similar al *stepwise regression* e indica el peso y nivel de significancia de cada atributo en la varianza explicada en el análisis de ordenación a un nivel de corte de  $P < 0.15$ . Los datos categóricos se trataron como variables de tipo *dummy*.

## Resultados

### *Composición florística*

Se registró un total de 102 especies leñosas, pertenecientes a 92 géneros y 45 familias. La familia mejor representada es Leguminosae con 15 géneros y 24 especies (23.5 %), seguida por Moraceae con 1 género y 10 especies (9.8 %) y Rutáceae con 1 género y 4 especies (3.9 %). Además de estas, las familias Anacardiaceae, Bignoniaceae, Burseraceae, Euphorbiaceae, Flacourtiaceae, Ulmaceae y Salicaceae estuvieron representadas por 3 especies (23.5 %) y con 1 a 3 géneros, cada una. Las restantes 35 familias estuvieron represen-

**Tabla 3.1:** Atributos ambientales analizados para cada uno de los segmentos fluviales de muestreo

Nivel de estudio	Características	Variables	Abreviatura
Cuenca vertiente	Tamaño de cuenca vertiente acumulada al segmento fluvial	km <sup>2</sup>	Tam_CV
Segmento fluvial	Tipo de régimen de caudales	Permanente	R_P
		Temporal	R_T
	Tipo de geología	Rocas ígneas extrusivas	Ige
		Rocas ígneas intrusivas	Igi
		Sedimentarias	Sed
	Pendiente longitudinal promedio	Porcentaje	Pend (%)
	Índice de regulación hidrológica	Hm3	I_Reg
Altitud	m s. n. m.	Alt	
Tramo fluvial	Tipo de Valle (TdeValle)	Confinado	C
		Parcialmente confinado	Par-C
	No confinado	No-C	
	Sustrato dominante del lecho del río	Grandes bloques (>1000 mm)	Gbl
		Bolos (>500-1000 mm)	Bol
		Cantos (130-500 mm)	Can
		Guijarros (25-130 mm)	Gui
		Gravas (<25 mm)	Gra
Arenas (<2.5 mm)	Are		

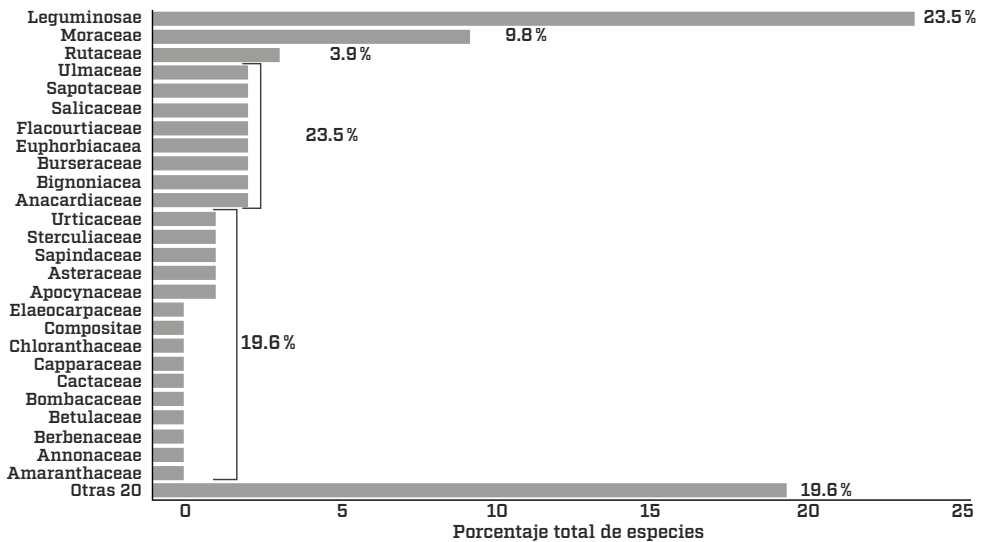
tadas por 1 a 2 especies (39.2 %) (figura 3.2). La lista completa de especies se encuentra en la tabla 3.2.

Del total de las especies ribereñas, siete son consideradas de afinidad hidrófita (Santana-Michel *et al.* en prensa), es decir, elementos característicos del bosque ribereño que mantienen una estrecha relación hidrológica, tales como; *Salix humboldtiana*, *S. bonplandiana*, *S. taxifolia*, *Astianthus viminalis*, *Alnus jorullensis*, *Fraxinus uhdei* e *Inga vera*. Aquí se incluye un grupo de especies arbustivas entre las que se encuentra *Heimia salicifolia*, *Baccharis salicifolia* y *Phragmites australis*.

Otras 12 especies son consideradas tolerantes a inundaciones temporales del río y también forman parte de otros tipos de vegetación en el territorio, entre las que se encuentran las especies del género *Ficus* y un grupo de espe-

cies arbustivas. El grupo de especies restantes son elementos característicos de diferentes tipos de bosque de ladera: bosque tropical caducifolio (BTC), bosque tropical subcaducifolio (BTSC), bosque de encino (BQ), que forman comunidades de vegetación en las riberas del río y frecuentemente sobre las laderas y los acantilados en la región (Santana-Michel *et al.* en prensa). Algunas de la especies predominantes de este grupo son *Acacia farnesiana*, *Ficus maxima*, *Guazuma ulmifolia* y *Enterolobium cyclocarpum*, con una frecuencia mayor al 20 por ciento. Otras especies leñosas de este grupo son *Acacia pennatula*, *Lysiloma acapulcense*, *F. cotinifolia*, *Q. castanea* y *A. farnesiana*. Además, se encontró a cuatro especies de frutales cultivados, aunque con muy bajas frecuencias que, junto con *Arundo donax*, son las únicas especies exóticas leñosas registradas en las riberas.

**Figura 3.2:** Distribución de las frecuencias de las familias de la vegetación ribereña del río Ayuquila-Armería. Se muestra el porcentaje de especies registradas por familia



Desde el punto de vista de la conservación de especies con estatus de protección especial, de acuerdo con la Norma Mexicana NOM-059-SEMAR-NAT-2010 (Semarnat 2010), se registraron tres especies (véase tabla 3.2) bajo



las siguientes categorías de protección: *Sideroxylon cartilagineum* (en peligro), *Guaiaicum coulteri* y *Sideroxylon capiri subsp. tempisque* (amenazadas).

**Tabla 3.2:** Lista de especies leñosas ribereñas

Familia y especie	Nombre común	Acrónimo	Hábitat					
			BG	BTC	BTSC	BP	BQ	VS
<b>AMARANTHACEAE</b>								
<i>Celosia arcuifolia</i> Greenm		Celtorcu		■				
<b>ANACARDIACEAE</b>								
<i>Cyrtocarpa procera</i> H. B. K.		Cyrtproc		■				
<i>Mangifera indica</i> L.	Mango	Mangífer						
<i>Pistacia mexicana</i> H. B. K.		Pipersp		■				
<b>ANONACEAE</b>								
<i>Annona</i> sp	Anona	Annonasp					■	
<b>APOCYNACEAE</b>								
<i>Stemmadenia tomentosa</i> Greenm. var. palmeri (Rose) Woodson		Stemtome		■	■			
<i>Thevetia ovata</i> (Cav.) A. DC.		Thevovat		■	■			
<b>ASTERACEAE</b>								
<i>Vernonia</i> sp		Vernonsp						
<i>Pluchea symphytifolia</i> (Mill.) Gillis		Plucsymp	■					
<b>BERBENACEAE</b>								
<i>Vitex mollis</i> H. B. K. forma iltisi Moldenke	Ahuilote	Vitemoll	■					
<b>BETULACEA</b>								
<i>Alnus jarullensis</i> H. B. K.	Aile, Alnus	Alnujoru	■			■		
<b>BIGNONIACEA</b>								
<i>Astianthus viminalis</i> (H. B. K.) Baill.	Sabino	Asthvimi	■					
<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	Primavera	Tabedonn		■				
<i>Tabebuia rosae</i> (Bertol.) DC.	Rosamorada	Taberosa			■			
<b>BOMBACACEAE</b>								
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaerth	Pochote	Ceibpent		■	■			
<b>BURSERACEAE</b>								

Los corredores ribereños en la cuenca del río Ayuquila-Armería en México

Familia y especie	Nombre común	Acrónimo	Hábitat					
			BG	BTC	BTSC	BP	BQ	VS
<i>Bursera fagaroides</i> [H. B. K.] Engl.	Papelillo	Bursfaga						
<i>Bursera grandifolia</i> (Schlecht) Eng.	Papelillo	Bursgran						
<i>Bursera kerberi</i> Engl.	Papelillo	Burskerb						
CACTACEAE								
<i>Stenocereus queretaroensis</i> (Weber) Buxbaum	Pitayo	Stenquer						
CAPPARACEAE								
<i>Crataeva palmeri</i> Rose	Cascarón, granadillo	Cratpalm						
CHLORANTHACEA								
<i>Hedyosmum mexicanum</i> Cordemoy	Guardalagua	Hedymexi						
COMPOSITAE								
<i>Baccharis salicifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers	Cenicilla	Bacccsali						
EUPHORBIACEAE								
<i>Croton niveus</i> Jacq.*		Crotnive						
<i>Croton sp.</i>		Crotsp						
<i>Sapium pedicellatum</i> Huber		Sapipedi						
FAGACEAE								
<i>Quercus castanea</i> Née	Encino	Quercast						
FLACOURTIACEAE								
<i>Casearia arguta</i> H. B. K.		Caseargu						
<i>Casearia corymbosa</i> Kunth		Casecory						
<i>Xylosma velutinum</i> (Tulasne) Triana & Planch.		Xyloveli						
GRAMINEA								
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	Carrizo	Phitdulc						
<i>Arundo donax</i> L.								
JUGLANDACEAE								
<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh.) K. Koch		Caryilli						
LABIATAE								
<i>Hyptis albida</i> H. B. K.	Amargosilla, Salvia	Hyptalbi						
LAURACEAE								

Familia y especie	Nombre común	Acrónimo	Hábitat					
			BG	BTC	BTSC	BP	BQ	VS
<i>Persea americana</i> Mill.	Aguacate	Perseasp						
LEGUMINOSAE								
<i>Acacia cochliacantha</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Huizache negro	Acacoch						
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	Huizache	Acacfarn						
<i>Acacia macilenta</i> Rose		Acacmaci						
<i>Acacia macracantha</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.		Acacmacr						
<i>Acacia pennatula</i> (Schlecht. & Cham.) Beth.		Acacpenn						
<i>Agonandra racemosa</i> (DC.) Standl.		Agonrace						
<i>Albizia occidentalis</i> Brandegee		Albiocci						
<i>Albizia tomentosa</i> (Micheli) Standl.	Parotilla	Albitome						
<i>Caesalpinia caladenia</i> Standl.		Caescala						
<i>Caesalpinia pulcherrina</i> (L.) Sw.		Caespulc						
<i>Calliandra caeciliae</i> Harms		Callcaec						
<i>Calliandra</i> sp.		Calliasp						
<i>Coursetia glandulosa</i> A. Gray		Courglan						
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	Parota	Entecycl						
<i>Erythrina lanata</i> Rose subsp. <i>occidentalis</i> (Standl.) Krukoff & Barneby		Erithrsp						
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ort.) Sarg.		Eysepoly						
<i>Inga vera</i> Wild.		Ingavera						
<i>Lysiloma acapulcense</i> (Kunth) Benth.		Lysiacap						
<i>Lysiloma microphyllum</i> Benth.	Tepehuaje	Lysimicr						
<i>Mimosa</i> sp.		Minosasp						
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	Guamúchil	Pisoacul						
<i>Pithecellobium lanceolatum</i> (Willd.) Benth.		Pistmexi						
<i>Prosopis laevigata</i> (Willd.) M. C. Johnst.	Mezquite	Proslaev						
<i>Senna atomaria</i> (L.) Irwin & Barneby	Vainilla	Sennatom						
LYTHRACEAE								

Familia y especie	Nombre común	Acrónimo	Hábitat					
			BG	BTC	BTSC	BP	BQ	VS
<i>Heimia salicifolia</i> Link	Jarilla	Heimsali						
MALPIGHIACEAE								
<i>Malpighia ovata</i> Rose		Malpovat		■				
MELIACEAE								
<i>Trichilia americana</i> (Sessé & Moc.) Pennington		Tricaamer			■		■	
MORACEAE								
<i>Ficus velutina</i> Homb. & Bonpl. Ex Willd.	Ficus	Ficuvelu	■	■	■	■	■	■
<i>Ficus cotinifolia</i> H. B. K.	Tescalama	Ficucoti	■	■	■	■	■	■
<i>Ficus crocata</i> (Miq.) Miq.		Ficucroc	■	■	■	■	■	■
<i>Ficus goldmanii</i> Standl.		Ficugold	■	■	■	■	■	■
<i>Ficus insipida</i> Willd.	Higuera	Ficuinisi	■	■	■	■	■	■
<i>Ficus maxima</i> Mill	Higuera	Ficumaxi	■	■	■	■	■	■
<i>Ficus pertusa</i> L. f.	Camichin	Ficupert	■	■	■	■	■	■
<i>Ficus petiolaris</i> Kunth	Amate	Ficupeti	■	■	■	■	■	■
<i>Ficus sp.</i>		Ficupigr	■	■	■	■	■	■
<i>Ficus pringlei</i> S. Watson		Ficuprin	■	■	■	■	■	■
MYRTACEAE								
<i>Psidium guajava</i> L.	Guayaba	Guavasp						
Nyctaginaceae								
<i>Pisonia aculeata</i> L. var. <i>aculeata</i>		Phraaust		■	■	■	■	■
OLIACEAE								
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenzig) Lingelsh.	Fresno	Fraxuhde	■	■	■	■	■	■
PAPAVERACEAE								
<i>Bocconia arborea</i> S. Watson	Llora sangre	Boccarbo			■	■	■	■
PIPERACEAE								
<i>Piper sp.</i>		Phitlanc						
RHAMNACEAE								
<i>Ziziphus mexicana</i> Rose	Amole	Zizimexi		■	■	■	■	■
RUBIACEAE								
<i>Randia tetraacantha</i> (Cav.) DC.		Randtetr		■	■	■	■	■

Familia y especie	Nombre común	Acrónimo	Hábitat					
			BG	BTC	BTSC	BP	BQ	VS
<b>RUTACEAE</b>								
<i>Casimiroa edulis</i> Llave & Lex.	Zapote blanco	Casiedul		■				
<i>Citrus aurantifolia</i> (Christm.) Swingle	Lima	Citrussp						
<i>Zanthoxylum mollis</i> (mollissimum) (Engler) P. Wilson		Zantmoll		■				
<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) C. Sargent		Zantfaga		■			■	
<b>SALICACEAE</b>								
<i>Salix bonplandiana</i> H. B. K.	Sauce	Salibond	■					
<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	Sauce	Salihumb						
<i>Salix taxifolia</i> Kunth	Taray	Salitaxi	■					
<b>SAPINDACEAE</b>								
<i>Thouinia acuminata</i> S. Watson		Thouacum						
<i>Thouinia serrata</i> Radlk.		Thouserr		■			■	
<b>SAPOTACEAE</b>								
<i>Manilkara zapota</i> (L.) Royen.	Zapote blanco	Manizapo		■				
<i>Sideroxylon capiri</i> subsp. tempisque (A. DC.) Pittier*	Tempisque	Sidecapi		■				
<i>Sideroxylon cartilagineum</i> (Cronquist) T.D. Penn*	Huizilacate	Sidecart		■				
<b>Simaroubaceae</b>								
<i>Recchia mexicana</i> Moc. & Sessé ex DC.		Reccmexi	■					
<b>Solanaceae</b>								
<i>Cestrum lanatum</i> M. Martens Galeotti		Cestlana	■					
<b>STERCULIACEAE</b>								
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guácima	Guazulmi		■			■	
<i>Phisodum adenoides</i> (Goldb.) Fryx.		Phisaden						
<b>TILIACEAE</b>								
<i>Heliocarpus terebinthinaceus</i> (DC.) Hochr.		Helitere	■				■	
<b>ULMACEAE</b>								

Familia y especie	Nombre común	Acrónimo	Hábitat					
			BG	BTC	BTSC	BP	BQ	VS
<i>Aphananthe monoica</i> (Hemsl.) Leroy		Aphamono						
<i>Celtis caudata</i> Planch.		Celtcaud						
<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg.	Granjeno	Celtigua						
URTICACEAE								
<i>Pouzolzia</i> sp.		Poualzosp						
<i>Urera caracasana</i> (Jacq.) Griseb.	Urticante	Urercara						
VERBENACEAE								
<i>Citharexylum</i> sp.		Cytharsp						
ZYGOPHYLLACEAE								
<i>Guaiacum coulteri</i> A. Gray*	Guayacán	Guaicou						

**Hábitat:** BG (bosque de galería), BTC (bosque tropical caducifolio), BTSC (bosque tropical subcaducifolio), BP (bosque de pino), BQ (bosque de encino) y VS (vegetación secundaria).

**Tabla 3.3:** Especies bajo protección según la NOM-059-SEMARNAT-2010

Familia	Especie	Nombre común	Distribución	Categoría
Zygophyllaceae	<i>Guaiacum coulteri</i>	Guayacán	Endémica	Amenazada [A]
Sapotaceae	<i>Sideroxylon capiri</i> subsp. tempisque	Palo santo	No endémica	Amenazada [A]
Sapotaceae	<i>S. cartilagineum</i>		No endémica	En peligro de extinción [P]

**A:** Aquellas que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo si siguen operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminuir directamente el tamaño de sus poblaciones.

**P:** Aquellas cuyas áreas de distribución o tamaño de sus poblaciones en el territorio nacional han disminuido drásticamente, poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, debido a factores tales como la destrucción o modificación drástica del hábitat, aprovechamiento sustentable, enfermedades o depredación, entre otros.

### **Riqueza y diversidad de especies**

El gradiente altitudinal de los tramos estudiados va de 20 a 1 600 m s. n. m. La riqueza de especies (S) y el índice de diversidad Shannon-Wiener (H') es

variable entre los tramos de estudio (tabla 3.4). La riqueza fluctúa entre 2 y 28 especies con un promedio de especies por tramo fluvial de ( $S = 9 \pm 5$ ) y el valor promedio del índice de diversidad Shannon-Wiener fue de  $1.91 \pm 0.52$ , con un índice de equitatividad de 0.94. Al analizar la riqueza y diversidad entre tramos de diferente régimen fluvial, se obtiene que los tramos de régimen temporal tienen en promedio una mayor riqueza ( $S = 11 \pm 5$ ) y diversidad ( $H' = 2.19$ ) de especies que los tramos de régimen permanente ( $S = 7 \pm 3$ ,  $H' = 1.79$ ); por ejemplo, los arroyos temporales Cerro Blanco ( $S = 28$ ,  $H' = 3.26$ ) y El Cangrejo ( $S = 24$ ,  $H' = 3.03$ ), mientras que los tramos de régimen permanente contienen una mayor riqueza y diversidad de especies, como Armería9-1 ( $S = 17$ ,  $H' = 2.69$ ) y San Juan Cacoma ( $S = 14$ ,  $H' = 2.56$ ), que muestran valores más bajos que aquellos alcanzados en los tramos temporales (tabla 3.4). Por otra parte, los tramos con menor riqueza de especies, como Las Garrochas, Ayuquila 3 y Ayuquila 5, albergan poblaciones dominadas por la mezcla de una o dos especies de sauces, comúnmente *S. bonplandiana* asociada a *S. taxifolia*, o poblaciones arbóreas puras de *S. humboldtiana* mezcladas con elementos arbustivos (*Prosopis laevigata* o *Pluchea symphytifolia*).

### **Estructura de las comunidades**

De las 102 especies ribereñas, solo *S. humboldtiana* y *Pithecellobium dulce* mostraron frecuencias mayores del 50 por ciento, así como los valores de importancia relativos más altos. Un segundo grupo de ocho especies mostró frecuencias entre el 25-50 por ciento, entre las que se encuentran *S. bonplandiana*, *A. viminalis*, *S. taxifolia*, *E. cyclocarpum*, entre otras. Sin embargo, el 55 por ciento de las especies fueron poco frecuentes, estando presentes en menos del 5 por ciento de los segmentos de muestreo y con los valores de importancia relativa más bajos (tabla 3.7). *S. capiri subsp. tempisque* y *S. cartilagineum* se ubican en este último grupo.

**Tabla 3.4:** Valores de riqueza específica (S), índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') y equitatividad de Pielou (E) para los 34 segmentos con mayor diversidad de un total de 70 tramos de muestreo

Segmento	RH	S	H'	E	Segmento	RH	S	H'	E
Cerro Blanco 1	T	28	3.26	0.98	La Pichitota	P	11	2.28	0.95
El Cangrejo	T	24	3.03	0.95	Ayutla 2	P	11	2.27	0.95
Armería 9-1	P	17	2.69	0.95	Armería 1-1	P	11	2.27	0.95
Cofradía de Pimienta	T	17	2.67	0.94	El Charco Verde	T	11	2.25	0.94
San Juan Cacoma	P	14	2.57	0.97	Nogueras	P	10	2.22	0.97
Telcampana	T	15	2.55	0.94	San Antonio 1	P	10	2.22	0.97
Las Palmas	T	12	2.41	0.97	Atengo 3	P	9	2.15	0.98
Jiquilpan 3	T	13	2.40	0.94	Manantlán	P	10	2.15	0.93
Yerbabuena 3	T	13	2.40	0.94	Arroyo Seco 1-2	P	9	2.11	0.96
El Huacal	P	12	2.36	0.95	Arroyo Salado	P	9	2.09	0.95
Miraplanes	T	12	2.35	0.94	Los Fresnos	P	9	2.09	0.95
Alseseca 2	P	12	2.34	0.94	Tonaya 1-3	P	9	2.07	0.94
Las Juntas 2	T	11	2.33	0.97	Armería 10-2	P	9	2.06	0.94
San Juan	P	11	2.32	0.97	La Yerbabuena 1	T	9	2.05	0.94
Ferrería 2	P	12	2.32	0.93	La Siempre Viva	P	9	2.05	0.93
El Coajinque	T	11	2.31	0.96	Tamazula 1	P	8	1.97	0.95
Ayuquila 2-1	P	11	2.31	0.96	Ejutla 2	P	8	1.94	0.93

**Notas:** RH: régimen hidrológico; P (Permanente) y T (Temporal) D. E.: desviación estándar.

Otros 36 segmentos			
Promedio (70 segmentos)	8.63	1.91	0.94
D. E.	4.57	0.52	0.03

### ***Asociaciones florísticas***

El dendrograma obtenido del análisis de clasificación de los tramos fluviales con base en la vegetación se muestra en la figura 3.3. A una distancia relativa de 38 por ciento como umbral de corte es posible distinguir nueve grupos de tramos fluviales con base en la composición y abundancia de sus especies riparias leñosas. Cada grupo fue denominado de acuerdo a la especie o especies con mayor valor de importancia relativa (VIR) de ese grupo (tabla



3.5). Estos grupos son: G1-*Guazuma ulmifolia*; G2-*Ficus insipida*; G3-*Astianthus viminalis* - *Heliocarpus terebinthinaceus*; G4-*Tabebuia donnell-smithii*, G5-*Celtis iguanaea*; G6-*Salix humboldtiana*; G7-*S. humboldtiana* y *Pithecellobium dulce*, G8-*S. humboldtiana* y *B. salicifolia*; y G9-*S. taxifolia* y *S. bonplandiana*.

**Tabla 3.5:** Valor de importancia relativa [VIR] de las especies leñosas ribereñas que obtuvieron un valor de VIR >10

Especie	Frec.	Frec. Rel.	Abund. Prom.	Cob.Rel.	Valor de Imp. Rel. [%]
<i>Salix humboldtiana</i>	45	0.64	2.29	0.57	60.72
<i>Pithecellobium dulce</i>	42	0.60	1.24	0.31	45.54
<i>Astianthus viminalis</i>	31	0.44	1.01	0.25	34.82
<i>Salix taxifolia</i>	30	0.43	1.03	0.26	34.29
<i>Baccharis salicifolia</i>	28	0.40	1.07	0.27	33.39
<i>Heimia salicifolia</i>	26	0.37	0.76	0.19	28.03
<i>Acacia farnesiana</i>	25	0.36	0.69	0.17	26.43
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	19	0.27	0.43	0.11	18.93
<i>Ficus maxima</i>	19	0.27	0.40	0.10	18.57
<i>Guazuma ulmifolia</i>	18	0.26	0.46	0.11	18.57
<i>Salix bonplandiana</i>	14	0.20	0.63	0.16	17.86
<i>Ficus insipida</i>	15	0.21	0.44	0.11	16.25
<i>Heliocarpus terebinthinaceus</i>	13	0.19	0.43	0.11	14.65
<i>Lysiloma microphyllum</i>	12	0.17	0.29	0.07	12.15
<i>Acacia macracantha</i>	11	0.16	0.26	0.06	11.07
Otras 86 especies (N= 102)	< 10				

**Tabla 3.6:** Ejemplos de la distribución altitudinal de las especies leñosas ribereñas

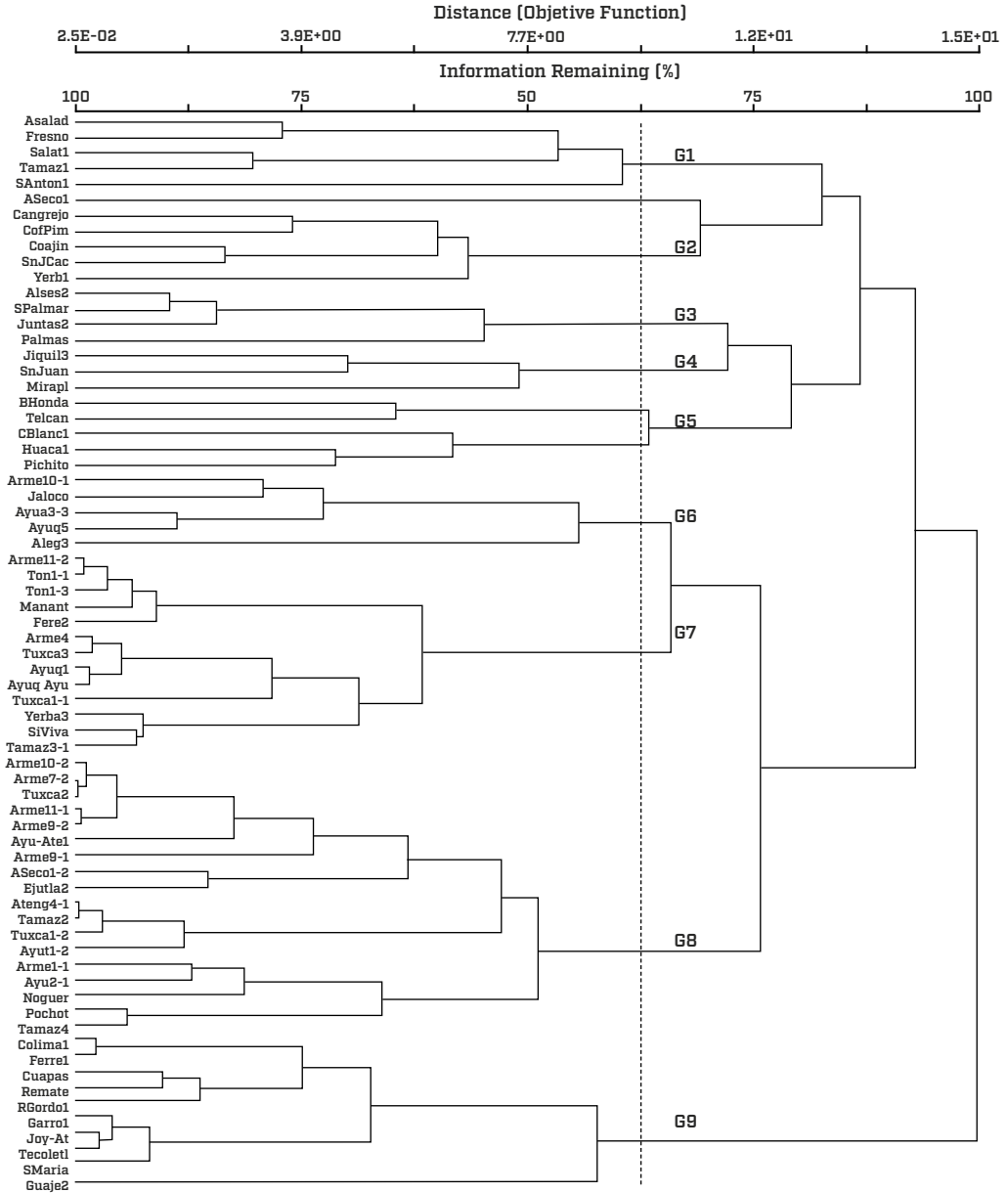
Altitud [m s. n. m.]/ especie	<200	200-400	400-600	600-800	800-1000	1000-1200	1200-1400	1400-1600
<i>Salix humboldtiana</i>	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Pithecellobium dulce</i>	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Astianthus viminalis</i>	•	•	•	•	•	•	•	

Altitud [m s. n. m.]/ especie	<200	200- 400	400- 600	600- 800	800- 1000	1000- 1200	1200- 1400	1400- 1600
<i>Salix taxifolia</i>		•	•	•	•	•	•	•
<i>Ficus maxima</i>	•	•		•	•	•	•	•
<i>Guazuma ulmifolia</i>	•			•	•	•	•	•
<i>Salix bonplandiana</i>				•	•	•	•	•
<i>Fraxinus uhdei</i>							•	
<i>Guaiacum coulteri</i>							•	
<i>Croton niveus</i>						•		
<i>Stemmadenia tomentosa</i>					•	•	•	•
<i>Alnus jarullensis</i>						•	•	•
<i>Randia tetraacantha</i>	•							
<i>Urera caracasana</i>		•						
<i>Prosopis laevigata</i>		•	•	•	•		•	
<i>Senna atomaria</i>	•		•			•		•

En el eje 1, se observa que el grupo 4 se separa de varios grupos, principalmente del G6, G7, G8, G9 y G5. La asociación florística del G4 es muy diferente del resto, y corresponde a una asociación de especies características del bosque tropical caducifolio, mientras que los grupos G6, G7 y G8 son asociaciones que comparten la dominancia de *Salix humboldtiana*, y con G9 la presencia de *Salix taxifolia*, ambas especies riparias estrictas. El grupo G5 se encuentra más cercano al G7 y G8, compartiendo especies como *Baccharis salicifolia* y *Acacia farnesiana* con estos grupos. El eje 2 separa al G1 con la asociación dominada por *Guazuma ulmifolia* en tramos de zonas altas, frente al G3 que se caracteriza por la dominancia de *Astianthus viminalis* de zonas más bajas.

El análisis de Kruskal-Wallis aplicado a los datos de altitud, tamaño de cuenca vertiente, pendiente y tipo de sustrato para observar la variación existente entre estas variables con los 9 grupos de segmentos fluviales diferenciados en el dendrograma, indica que los grupos tienen diferencias significativas respecto a los valores de tipo de régimen hidrológico (H=31.5, gl=8, p<0.01, altitud (H=11.7, gl=8, p=0.16), tamaño de cuenca vertiente acumulada al segmento fluvial ( H=26.4, gl=8, p=<0.01) y granulometría del sustrato (H=21.05, gl=8, p=0.007) (figura 3.9).

**Figura 3.3:** Dendrograma de nueve grupos de tramos fluviales según su composición florística distinguidos por el método de clasificación jerárquico Beta Flexible con un valor de  $\beta = -0.25$ , de un total de 70 segmentos fluviales y 102 especies leñosas. El valor de encadenamiento fue de 3.



**Tabla 3.7:** Valores de importancia relativa de las especies leñosas características de los grupos florísticos

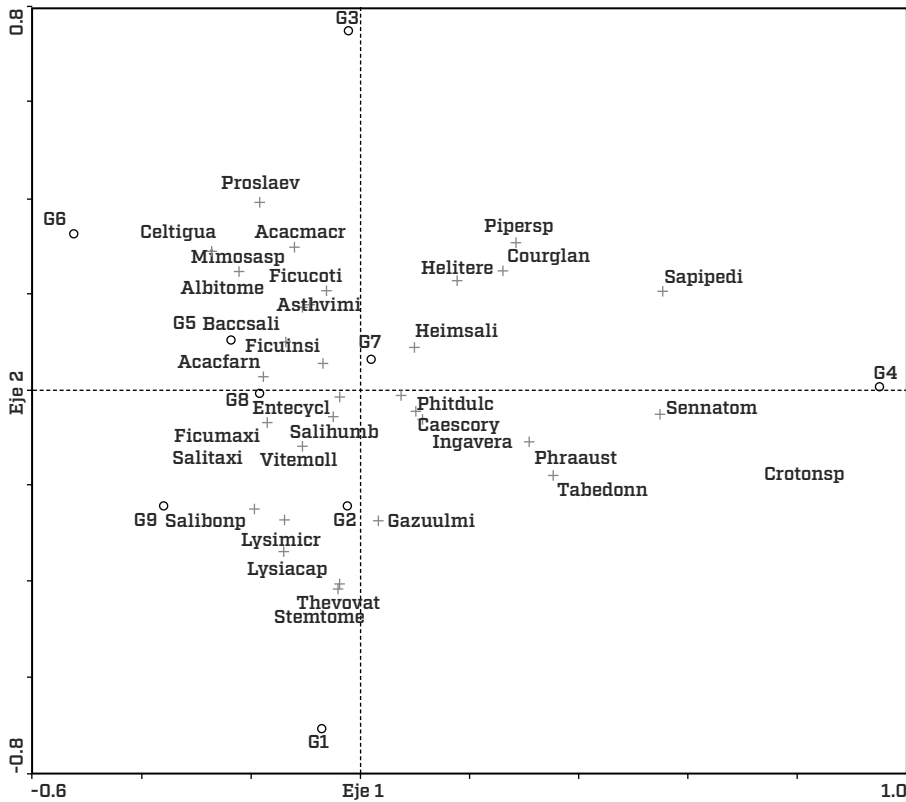
Número de grupo	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
Número total de segmentos	5	6	4	3	5	5	14	18	10
Número total de especies	29	44	25	26	45	15	39	34	25

Núm.	Especies dominantes	VIR								
1	<i>Acacia farnesiana</i>	25.0	20.8	50.0		50.8			59.4	55.0
2	<i>Acacia macilenta</i>		20.8	50.0		59.1				
3	<i>Albizia tomentosa</i>		47.9	50.0		22.5				17.5
4	<i>Astianthus viminalis</i>		54.2	<b>93.7</b>		47.5		67.8	56.7	22.5
5	<i>Baccharis salicifolia</i>		48.3	45.0		70.0		26.0	<b>72.3</b>	15.5
6	<i>Casearia corymbosa</i>		18.3		54.2	47.5		13.6	25.5	42.5
7	<i>Celtis iguanaea</i>			43.7		<b>71.2</b>	47.5			17.5
8	<i>Coursetia glandulosa</i>		20.8	50.0	45.8	22.5				
9	<i>Croton sp.</i>	22.5			<b>83.3</b>					
10	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	35.0	66.7	25.0	29.2	22.5	42.5	27.4	36.1	
11	<i>Ficus cotinifolia</i>		33.3	50.0				19.6	42.3	*
12	<i>Ficus insipida</i>		<b>86.7</b>	37.5		32.5		33.0	24.3	*
13	<i>Ficus maxima</i>	32.5	55.2			51.2	38.7	34.0	29.2	*
14	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<b>77.5</b>	55.2		35.4	22.5		19.6	23.6	24.3
15	<i>Heimia salicifolia</i>	22.5	36.6	60.8	53.3	30.0		24.0	60.0	*
16	<i>Heliocarpus terebinthinaceus</i>		20.8	<b>93.7</b>	70.8			16.0	43.0	24.3
17	<i>Inga vera</i>		60.4		32.5	32.5		19.6	18.0	
18	<i>Lysiloma acapulcense</i>	63.7				22.5			40.3	
19	<i>Lysiloma microphyllum</i>	63.3	33.3			32.5		16.1	30.5	27.5
20	<i>Mimosa sp.</i>	22.5		50.0			47.5		27.8	
21	<i>Pithecellobium dulce</i>	63.3	41.7	58.3	77.0	58.7		<b>73.0</b>	61.1	22.5
22	<i>Phragmites australis</i>	22.5	28.3		66.7	45.0				
23	<i>Piper sp.</i>			52.5	41.7			43.6		
24	<i>Prosopis laevigata</i>			56.2		22.5	35.0	19.6	12.3	
25	<i>Salix bonplandiana</i>	60.0	47.9			47.5			40.3	<b>85.3</b>
26	<i>Salix taxifolia</i>	38.7	29.2			38.7	35.0	61.4	44.0	<b>86.2</b>
27	<i>Salix humboldtiana</i>	57.5	41.6		66.7		<b>90.0</b>	<b>99.1</b>	<b>94.3</b>	54.4
28	<i>Sapium pedicellatum</i>			25.0	58.3			16.1		

Núm.	Especies dominantes	VIR			
29	<i>Senna atomaria</i>	20.8	58.3	15.3	
30	<i>Stemmadenia tomentosa</i>	59.2	62.5	16.0	
31	<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	35.0	58.3	<b>79.2</b>	32.1
32	<i>Thevetia ovata</i>	35.0	58.3		
33	<i>Vitex mollis</i>	52.1	20.0	18.3	

**Nota:** Los valores en negrita corresponden al VIR más alto alcanzado por la especie que representa o caracteriza a cada grupo de tramos fluviales.

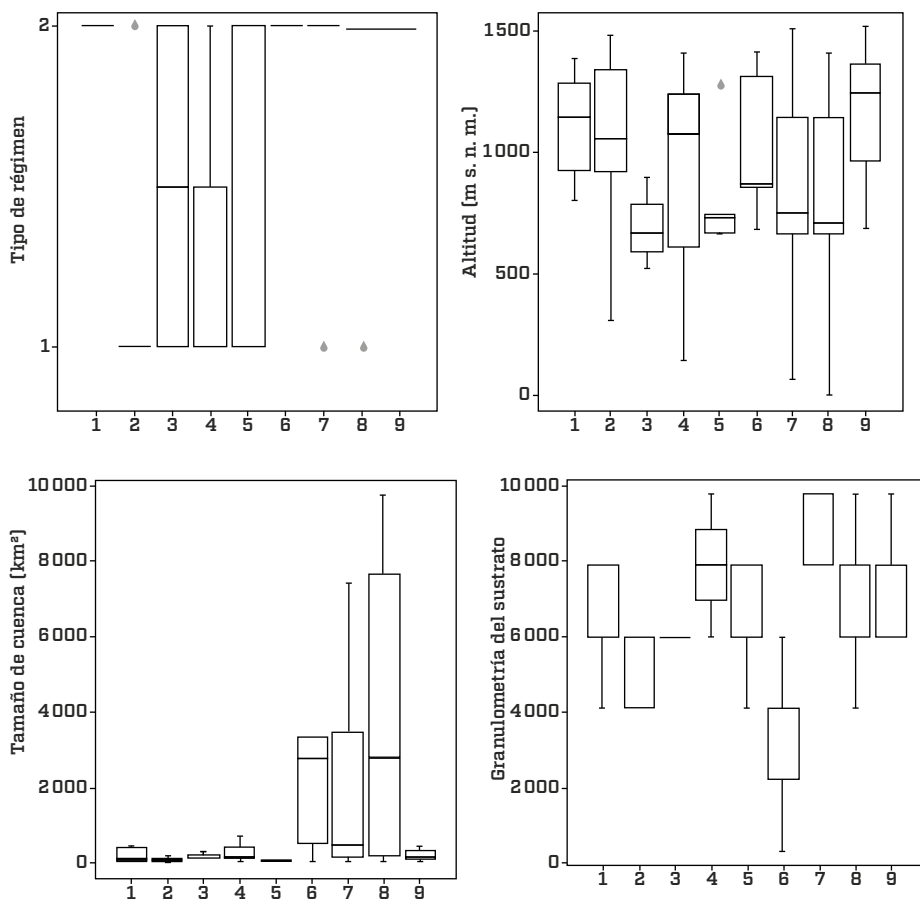
**Figura 3.4:** Diagrama de ordenación de las 33 especies y 9 grupos florísticos producido por el análisis CA aplicado a la matriz de abundancias



**Nota:** Se muestran tanto los tramos (triángulos), como las especies más importantes (estrella) según su VIR. Los nombres están abreviados con las cuatro primeras letras del género y de la especie; los nombres completos se pueden consultar en la tabla 3.6.

Las asociaciones florísticas han quedado definidas con base en la especie dominante (con mayor valor de importancia relativa) característica del grupo y las especies con los valores más altos del  $VIR$  que la acompañan. A continuación se describe cada una de las asociaciones florísticas y su relación con algunas características físicas de los tramos fluviales que albergan dichas asociaciones.

**Figura 3.5:** Resultados del análisis de varianza Kruskal-Wallis para el tipo de régimen fluvial ( $H=31.5$ ,  $gl=8$ ,  $p<0.01$ )



Altitud ( $H=11.7$ ,  $gl=8$ ,  $p=0.16$ ), tamaño de cuenca vertiente acumulada al segmento fluvial ( $H=26.4$ ,  $gl=8$ ,  $p<0.001$ ) y granulometría del sustrato ( $H=21.0$ ,  $gl=8$ ,  $p=0.007$ ). Los números del 1-9 en el eje de las X corresponden a los grupos de segmentos fluviales. Las escalas corresponden a tipo de régimen (1-permanente, 2-temporal) y granulometría del sustrato (1-arenas, 2-gravas, 3-guijarros, 4-cantos, 5-bolos, 6-grandes bloques).

- Asociación florística *Guazuma ulmifolia* (Grupo 1): Esta asociación se caracteriza por la dominancia de *Guazuma ulmifolia* y la presencia de otras especies asociadas como *Lysiloma acapulcense* y *Lysiloma microphyllum*. Ocurre en tramos de régimen permanente, que tienen cuencas pequeñas y están en altitudes montañosas más elevadas que los otros grupos, generalmente con sustratos gruesos (formados por cantos y bolos).
- Asociación florística *Ficus insipida* (Grupo 2): La especies características de esta asociación es *Ficus insipida* y entre las especies dominantes asociadas se encuentra *Enterolobium cyclocarpum*, *Stemmadenia tomentosa*, *Inga vera*, *Thevetia ovata* y *Vitex mollis*. Esta asociación prevalece en tramos de régimen temporal, con cuencas pequeñas y altitudes montañosas que presentan sustratos gruesos (cantos, aunque también hay tramos con sustratos finos). *F. insipida* y *E. cyclocarpum* son árboles de bosque maduro, de carácter más tropical, que en condiciones de humedad mantienen una fenología perennifolia (perennifolio-tropical) y el resto de las especies son arboles de porte más bajo que forman el subdosel. Otras especies asociadas son *Albizia tomentosa*, *Astianthus viminalis*, *Baccharis salicifolia*, *Ficus maxima*, *Guazuma ulmifolia*, *Pithecellobium dulce*, *Salix bonplandiana* y *S. humboldtiana*.
- Asociación florística *Astianthus viminalis* y *Heliocarpus terebinthinaceus* (Grupo 3): *Astianthus viminalis* y *Heliocarpus terebinthinaceus* forman una asociación de codominancia, a la cual se encuentra asociado otro grupo de especies, tales como *Prosopis laevigata*, *Acacia farnesiana*, *A. macilenta*, *Albizia tomentosa*, *Ficus cotinifolia*, *Heimia salicifolia*, *Mimosa sp.*, *Piper sp.* Esta asociación se encuentra en tramos tanto de régimen permanente como temporal, en cuencas pequeñas, en altitudes media-baja (submontanos) y sustratos gruesos (formados exclusivamente por cantos). Otras especies asociadas son *Baccharis salicifolia*, *Celtis iguanaea* y *Coursetia glandulosa*.
- Asociación florística *Croton sp.* y *Tabebuia donnell-smithii* (Grupo 4): Caracterizado por *Croton sp.* y *Tabebuia donnell-smithii*, y asociada a *Pithecellobium dulce*, *Heliocarpus terebinthinaceus*, *Casearia corymbosa*, *Phragmites australis*, *Sapium pedicellatum* y *Senna atomaria*, un conjunto de especies del bosque tropical caducifolio de zonas más secas. Esta asociación está presente en tramos de régimen temporal, en cuencas pequeñas de elevada altitud con sustratos gruesos (cantos, aunque también

- hay grandes bloques y bolos). Esta asociación se presenta en un rango altitudinal mayor que la G3, además, se distingue del G3 porque *Helio-  
carpus terebinthinaceus* no forma asociación con *A. viminalis*. Otras especies asociadas son *Coursetia glandulosa*, *Heimia salicifolia* y *Piper sp.*
- Asociación florística *Celtis iguanaea* (Grupo 5): Esta asociación está dominada por *Celtis iguanaea*, acompañada de *Acacia macilenta* y *Baccharis salicifolia*. Esta asociación se observa en tramos de cuencas pequeñas temporales de altitudes medias-bajas, con sustratos gruesos (bolos, aunque también hay bolos en proporción similar). Se distingue un grupo de especies que toleran períodos de sequía. En este hay dominancia del arbusto *B. salicifolia*. Otras especies asociadas son *A. farnesiana*, *P. dulce*, *Ficus maxima*, *A. viminalis*, *C. corymbosa* y *S. bonplandiana*.
  - Asociación florística *Salix humboldtiana* (Grupo 6): En esta asociación se observa una clara predominancia de *Salix humboldtiana* en asociación con otras especies que se adjuntan, aunque con muy baja dominancia, como *Celtis iguanaea* y *Mimosa sp.* en tramos de ríos permanentes, altitudes medias (submontanas), cuencas de tamaño grande, y tramos con sustratos de diversas granulometrías de tamaño medio, incluyendo arenas. Otra especie asociada es *E. cyclocarpum*.
  - Asociación florística *Salix humboldtiana-Pithecellobium dulce* (Grupo 7): *Salix humboldtiana* en codominancia con *Pithecellobium dulce* caracterizan esta asociación, y los acompañan *Astianthus viminalis* y *Salix taxifolia* entre las especies más importantes. Tramos de régimen permanente, de cuencas medianas-grandes y en altitudes medias (submontanas), en general con sustratos gruesos (formados por cantos y bolos en proporción más o menos igual) en ríos menos erosivos. Otra especie asociada es *Piper sp.*
  - Asociación florística *Salix humboldtiana-Baccharis salicifolia* (Grupo 8): Esta asociación también está dominada por *Salix humboldtiana*. Aquí *Baccharis salicifolia* tiene un dominancia en el sotobosque. A estas especies se asocia *Pithecellobium dulce*, además de *Acacia farnesiana* en tramos de régimen permanente con altitudes medias, cuencas grandes, sustrato de materiales gruesos (principalmente cantos, aunque se pueden encontrar otros tipos), en ríos con un carácter más dinámico, más erosivos. Otras especies asociadas son *A. viminalis*, *F. cotinifolia*, *H. terebinthinaceus*, *S. taxifolia*, *Lysiloma acapulcense* y *S. bonplandiana*.



- Asociación florística *Salix bonplandiana*-*S. taxifolia* (Grupo 9): Esta asociación se caracteriza por la codominancia de *Salix bonplandiana* con *Salix taxifolia*, a la que se asocian *Acacia farnesiana* y *Casearia corymbosa* en tramos de régimen permanente de cuencas pequeñas en altitudes de montaña, con sustratos gruesos dominados por cantos.

Los tramos G7, G8 y G9 agrupan a la mayoría de los tramos de estudio, albergando a las comunidades florísticas más importantes de la cuenca, y están dominadas por especies del género *Salix*. Se observa que *Salix humboldtiana* domina las comunidades en los tramos medios (G7 y G8), y *S. bonplandiana*, en los tramos de altitud más elevada (G9). En conclusión, aproximadamente el 53 por ciento de los tramos fluviales presentan un corredor de vegetación de ribera dominado por *Salix humboldtiana* (G6, G7, G8), en donde se pueden distinguir tres subgrupos; el primero es la asociación florística *S. humboldtiana* (G7), en donde la especie muestra una notoria dominancia respecto a las especies que le acompañan, y son tramos donde se pueden encontrar sedimentos finos en gran medida. En el segundo subgrupo, bajo condiciones de sustrato más gruesos, *S. humboldtiana* se muestra en codominancia con *Pithecellobium dulce* en lo que representaría un sistema más estable, o bien, acompañada por *Acacia farnesiana* y *B. salicifolia*, que son elementos dinámicos pioneros. El tercer subgrupo lo forma el G6, donde *S. humboldtiana* se encuentra como elemento dominante y la presencia de sustratos más finos (arenas) en los tramos de este subgrupo es una característica que lo diferencia del G7 y G8, ya que el resto de las características son muy similares.

### **Asociaciones florísticas dominantes y atributos ambientales**

La relación de las especies con las variables ambientales se analizó, a través del análisis de correspondencia canónica (CCA) a partir de una matriz de las 33 especies de mayor índice de valor de importancia, y que corresponden a aquellas que caracterizan los nueve grupos florísticos identificados, y cinco variables ambientales seleccionadas a partir de la prueba *forward stepwise* de un grupo de 17 variables ambientales evaluadas inicialmente. Estas cinco variables seleccionadas fueron: tipo de régimen temporal (R\_Temporal), pendiente (%), altitud (m s. n. m.), tipo de valle parcialmente confinado (TDeValle\_PC), tipo de sustrato (arenas).

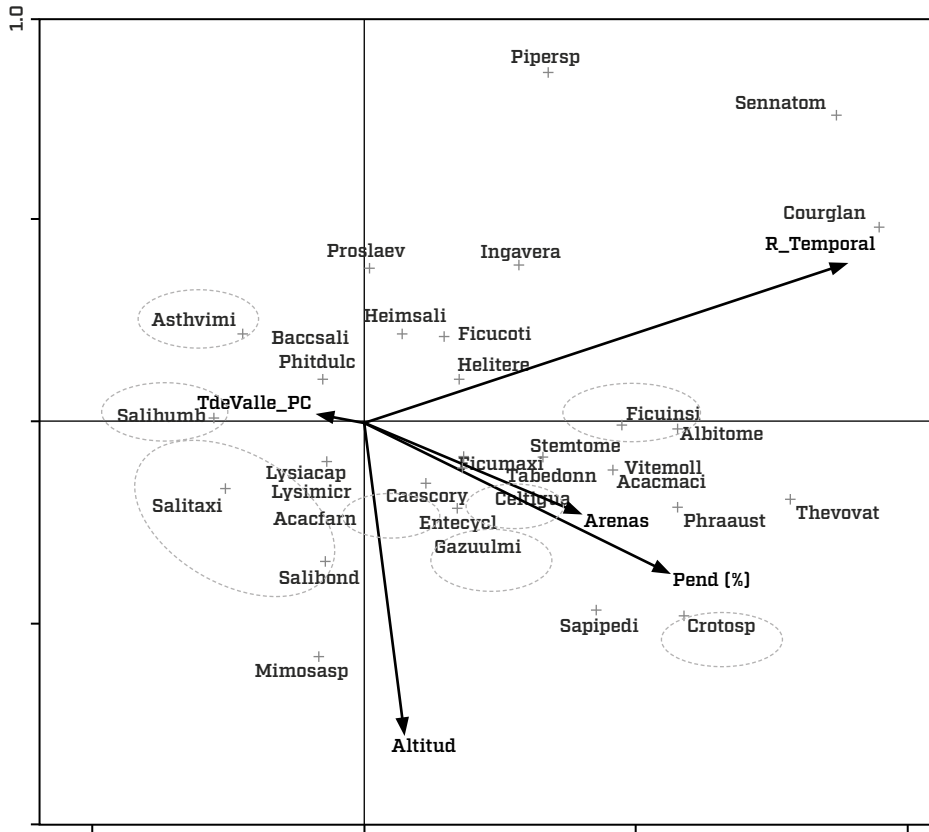
El análisis de ordenación muestra un bajo porcentaje de la varianza acumulada por las especies en los primeros cuatro ejes (12.7%) (tabla 3.8). Sin embargo, existe una fuerte relación entre las especies y los factores ambientales, con una correlación especies-factores hidromorfológicos de 0.76 en el primer eje y 0.63 en el segundo. La prueba de Monte Carlo indica que los cuatro ejes canónicos se correlacionan de forma significativa ( $P < 0.005$ ) con el grupo de variables seleccionadas, lo que sugiere que los resultados obtenidos en el CCA no se deben al azar y el diagrama de ordenación proporciona una representación significativa de la distribución de las especies y las variables ambientales estudiadas.

Los primeros dos ejes explican el 57.9 por ciento de la variabilidad existente en la relación asociaciones florísticas y factores ambientales. El eje 1 explica el 34.4 por ciento de la varianza de la relación asociaciones florísticas-variables ambientales. Este eje está muy relacionado positivamente con los tramos fluviales de tipo temporal (R\_Temporal) y la pendiente, y en menor medida con la presencia de un sustrato de granulometrías finas (arenas) (tabla 3.8, figura 3.6).

**Tabla 3.8:** Eigenvalores y porcentaje de la varianza explicada por el Análisis de Correspondencia Canónica

Ejes	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4
Eigenvalores	0.157	0.107	0.088	0.073
Correlaciones especies-ambiente	0.766	0.633	0.619	0.601
Datos del porcentaje acumulativo de la varianza de especies	4.7	7.9	10.5	12.7
of species-environment relation	34.4	57.9	77.2	93.3
Variables ambientales				
R_Tempora	0.683	0.249	-0.054	-0.106
Pendiente	0.433	-0.238	-0.302	0.327
Altitud	0.058	-0.492	0.147	-0.336
TdeValle_PC	-0.065	-0.010	-0.189	-0.426
Arenas	0.307	0.145	0.430	0.041
Monte Carlo test (499 permutaciones)	F	Valor de P		
Significancia del Eje 1	3.141	0.0020		
Significancia de todos los ejes	2.015	0.0020		

**Figura 3.6:** Diagrama de ordenación de la abundancia de las especies producido por el CCA



Los nombres están abreviados con las cuatro primeras letras del género y de la especie; los nombres completos se pueden consultar en la tabla 3.2. Se incluyen 70 segmentos fluviales, 33 especies con mayor VIR y cinco variables ambientales seleccionadas a través del forward selection y el test de Monte Carlo.

Esto significa que las asociaciones florísticas ubicadas al lado derecho del primer eje están determinadas de forma importante por un tipo de régimen de caudales temporal y pendientes relativamente altas, por lo que se puede observar la distribución espacial de la asociación *Croton sp.* (que define a la asociación florística 4) y asociación *Celtis iguanaea* (especie característica de la AF5), mientras que la asociación de *Ficus insipida* (de la asociación AF2) se relaciona con tramos de régimen temporal, pero en pendientes medias. Del lado iz-

quierdo, afectadas por los tramos permanentes y pendientes más bajas, han quedado ubicadas las asociaciones de *Salix humboldtiana*, *S. bonplandiana*, *S. taxifolia* y también *Astianthus viminalis*, *Pithecellobium dulce* y *Baccharis salicifolia*, todas ellas riparias estrictas que requieren de mayor humedad.

En el eje 2 se puede observar que la altitud es un factor que condiciona las asociaciones de *S. bonplandiana*-*S. taxifolia* (G9) en altitudes elevadas y, del otro extremo, a *Prosopis laevigata* en altitudes medias. El eje 2 con el 11 por ciento de la varianza explicada está relacionado con cierta fuerza, con la altitud, y en menor medida, con el tipo de régimen (R\_Temporal); es decir que se observan en porción inferior del eje las asociaciones de *S. taxifolia* y *S. bonplandiana* (especies características del G9), *Guazuma ulmifolia* (que define al grupo G1), asociadas a otro grupo de especies, por ejemplo; *E. cyclocarpum*, *L. microphylla*, *L. acapulcense* y *A. farnesiana*. La presencia y dominancia de estas especies podría ser un indicador de perturbación por pastoreo de ganado presente en estos tramos fluviales. En cambio, en los tramos fluviales donde domina *S. bonplandiana*, estas leguminosas presentan una dominancia mucho más baja. La ubicación de *Astianthus viminalis* (G3) indica que se relaciona con aquellos segmentos fluviales permanentes y temporales en altitudes similares en las que se encuentra *S. humboldtiana*, pero con pendientes más bajas. *Piper sp.*, *Senna atomaria* y *Coursetia glandulosa* son especies que se encuentran en bajas altitudes. *S. atomaria* es exclusiva de ríos temporales y las otras dos están en ambos tipos de régimen.

## Conclusiones

### ***Composición florística, riqueza y diversidad de la vegetación ribereña***

México presenta una enorme riqueza florística que ocupa los primeros lugares a nivel mundial, estimada en 30000 especies de plantas (Rzedowski 1978, 1991). Esta riqueza florística es el resultado de la historia biogeográfica, su relieve irregular dominado por accidentes topográficos y sus múltiples climas (Ramamoorthy *et al.* 1993). El territorio mexicano es considerado por los biogeógrafos como la zona de transición entre dos grandes regiones: la Neotropical (constituida por Sudamérica y Centroamérica) y la Neártica (que corresponde a Norteamérica), lo que ha dado como resultado una rica

mezcla de elementos de flora y fauna con diferentes historias biogeográficas (Flores-Villela y Gerez 1994). La cuenca del río Ayuquila-Armería comparte ambas regiones biogeográficas, ubicándose en una zona transición de las provincias fisiográficas de la Sierra Madre del Sur y del Eje Neovolcánico, lo que le confiere mayor complejidad geológica y topográfica, que favorece la mezcla de especies características del bosque tropical caducifolio y subcaducifolio en las riberas, enriqueciendo la composición florística de la vegetación ribereña como lo muestran los resultados de este estudio.

La comparación de la composición y diversidad florística encontrada en este estudio con la de otras comunidades de vegetación ribereña en México muestra que la riqueza de especies (102 especies leñosas) es muy similar a la reportada por Lott *et al.* (1987) en los arroyos de Chamela, en una región más cálida de la costa de Jalisco (para donde se reportan 105 especies leñosas con diámetros de 2.5 cm en 10 unidades de 100 m<sup>2</sup>), tipificadas por la dominancia de *Thouinidium decandrum*, especie de amplia distribución en México, que forma parte de los bosques tropicales caducifolios (Pennington y Sarukhán 2005). El trabajo de Lebrija-Trejos (2001) realizado en el río Nizanda (Oaxaca) en el sureste mexicano, reporta 109 especies (con diámetro de 1 cm en 26 unidades de 100 m<sup>2</sup>). Ambos ríos se ubican en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, misma que comparte el río Ayuquila-Armería. En la región centro del país, en la provincia del Eje Neovolcánico, Camacho-Rico *et al.* (2006) reportan para el río Tembembe, en un clima templado subhúmedo, 74 especies (con diámetro de 1 cm 23 unidades de 100 m<sup>2</sup>), en comunidades riparias dominadas por *Alnus acuminata*, *Daphnopsis salicifolia*, *Astianthus viminalis* y *Salix humboldtiana*, entre otras. En contraste, Treviño *et al.* (2001) encontraron una menor riqueza de especies en los ríos Ramos y Cabezones (21 y 16 especies respectivamente con diámetro >5 cm en unidades de 500 m<sup>2</sup>), ubicados en la Sierra Madre Oriental, en una zona ecológica que se caracteriza por ser de tipo árida-semiárida en el norte del país (Toledo y Ordoñez 1993, 1996). Las especies que configuran las riberas en esta región son *Platanus occidentalis*, *Taxodium mucronatum* y *Populus wislizeni*. En la cuenca del río Ayuquila-Armería hasta el momento se han registrado cerca de 126 especies leñosas ribereñas, tomando en cuenta las registradas por Santana-Michel *et al.* (en prensa) y las que aquí se reportan. Es importante resaltar que el 95 por ciento de las especies leño-

sas ribereñas en la cuenca son nativas y *Arundo donax* (carrizo gigante) es uno de los elementos introducidos o exóticos más abundantes en las riberas.

La clasificación de la vegetación de México propuesta por Rzedowski (1978) es una de las más utilizadas por los científicos en el país y define los bosques de galería como agrupaciones arbóreas de gran heterogeneidad fisiológica y estructural, reconociendo a *Salix*, *Astianthus* y *Ficus* como algunos de los géneros dominantes de esta comunidad de vegetación en las zonas cálidas del país. El género *Salix* se reconoce como una especie de alta tolerancia ecológica y amplia distribución en México, mientras que *Ficus* es el género más extendido y *Astianthus* existe en regiones de marcada estacionalidad en donde las corrientes llegan a secarse durante varios meses (Rzedowski 1978). Otros géneros como *Alnus* y *Fraxinus* son considerados propios de las riberas en zonas de clima más fresco, siendo las especies de *Alnus* las más extendidas y frecuentes. Estas especies fueron registradas en altitudes más elevadas de nuestra zona de estudio. Rzedowski (1978) indica que los géneros *Enteolobium*, *Guazuma*, *Pithecellobium* y *Tabebuia* forman parte de la vegetación riparia en regiones calientes y más o menos húmedas de nuestro país y resultaron ser elementos dominantes en las riberas del río Ayuquila-Armería. Estos resultados representan una contribución al conocimiento de la distribución geográfica de estas especies en el país.

En relación con la composición de especies, las familias mejor representadas son Leguminosae y Moraceae. De estas, la familia Leguminosae es proporcionalmente la mejor representada en este estudio y es reportada por Lott *et al.* (1987) y Camacho-Rico *et al.* (2006) como la familia más diversa en otros bosques riparios del país. La familia Leguminosae es una de las más diversas en el mundo y está ampliamente distribuida en las regiones tropicales (Gómez-Pompa 1966, Flores 2001) y en México se establece en las zonas cálidas y semicálidas, formando parte de diversos tipos de hábitats acuáticos y terrestres (bosques tropicales, pinares, encinares, vegetación riparia y desiertos) (Flores 2001). Una de las características de las leguminosas es su capacidad de colonizar exitosamente hábitats deficientes en nitrógeno, debido a la asociación que sus raíces mantienen con las bacterias fijadoras de nitrógeno (rizobios). Además, las leguminosas son plantas muy apreciadas por el hombre, debido a su gran potencialidad en cuanto a su valor económico, como fuente de alimento, combustible, madera y forraje. En las riberas del río Ayuquila-Armería, *Pithecellobium dulce* es la leguminosa más frecuen-

te y dominante, una especie perennifolia de amplia distribución en todas las zonas tropicales del país (Cervantes *et al.* 2001), reconocida como una especie forestal no maderable, extensamente protegida y propagada por el hombre. Forma parte de las selvas medianas caducifolias o bajas espinosas, y en sitios abiertos forma manchones monoespecíficos (Pennington y Sarukhán 2005). Otras leguminosas de interés encontradas en el área de estudio son *Lysiloma microphylla* y *Acacia farnesiana*, especies características de sitios abiertos, que también pueden formar manchones monoespecíficos en suelos moderadamente profundos hasta someros y pedregosos (Flores 2001). La familia de las Moráceas está representada por el género *Ficus*, con diez especies en los ríos de la región de estudio. Este género tiene una amplia distribución en el continente americano (desde Florida hasta el norte de Argentina), asociada a distintos tipos de vegetación (Durán-Ramírez *et al.* 2010). En México, se han estimado entre 21 y 34 especies nativas de *Ficus* (Serrato *et al.* 2004, Villaseñor 2004).

Los bajos índices de similitud de especies entre los tramos fluviales muestran que existe una alta heterogeneidad florística en los ríos a lo largo del gradiente altitudinal de la cuenca; especies como *Salix humboldtiana* y *Pithecellobium dulce* presentan una amplia distribución altitudinal, además de ser elementos dominantes en diversos tramos de fluviales. La amplia distribución de estas especies en diversas condiciones ambientales ha sido reportada por Rzedowski (1978).

En cambio, *G. coulteri*, una especie de interés para la conservación por encontrarse amenazada en México (según la NOM-059-SEMARNAT-2010), presenta una distribución altitudinal bastante limitada en las riberas de la cuenca. López-Toledo *et al.* (2011) indican que la pérdida de hábitat para *G. coulteri* es más intensa en el estado de Jalisco que en el resto del país. En la cuenca del río Ayuquila-Armería esta especie ha sido colectada en la subcuenca del río Tuxcacuesco, asociada al bosque tropical caducifolio (Vázquez *et al.* 1995), pero hasta el momento no existe ningún estudio ecológico que indique en qué situación se encuentran sus poblaciones y su hábitat en esta región. Esta misma situación ocurre con las poblaciones de *S. capiri* subsp. *tempisque* y *S. cartilagineum*. En este sentido, es importante realizar investigación ecológica enfocada hacia la conservación de las poblaciones y el hábitat de estas especies.

### ***Asociaciones florísticas y variación de los factores ambientales***

En diversos estudios frecuentemente se hace referencia a la existencia de grupos ecológicamente disímiles en cuanto a la forma en la que las especies aprovechan los recursos y su clasificación se basa principalmente en las condiciones ambientales en las que las especies se establecen (Swaine y Whitmore 1988, Peralta y Moreno-Cassasola 2009 y Bejarano *et al.* 2011). La identificación de nueve asociaciones que difieren en composición y dominancia de especies en la cuenca es una primera aproximación a la identificación de grupos florísticos, es decir, asociación de especies con requerimientos ambientales similares (Peralta y Moreno-Cassasola 2009, Bejarano *et al.* 2011).

Las especies indicadoras de cada grupo fueron aquellas que presentaron un mayor valor de importancia, reflejando que en los tramos fluviales incluidos en cada uno existen condiciones más adecuadas para la especie, aún cuando se encuentra con un valor de importancia menor en otros grupos. Además, la frecuencia y dominancia de la mayoría de las especies en los grupos florísticos se registró de manera diferencial. En general, esto puede ser resultado de algunas de sus características ecológicas, tales como su tamaño, patrones fenológicos y sus requerimientos ambientales (Hutchings y De Kroon 1994, Rosenberg y Freedman 1994).

Los géneros dominantes en la vegetación de ribera del río Ayuquila-Armería son *Salix*, *Astianthus*, *Ficus*, *Guazuma* y *Pithecellobium*; como ya se mencionó antes, son elementos característicos de este tipo de vegetación en México (Rzedowski 1978). Dentro de estos géneros, las especies *Salix humboldtiana*, *S. bonplandiana*, *S. taxifolia*, *Astianthus viminalis*, *Ficus insipida*, *Pithecellobium dulce* y *Guazuma ulmifolia* son las especies dominantes estructurales y fisonómicas de estas comunidades ribereñas en el río Ayuquila-Armería. Camacho-Rico *et al.* (2006) encontró comunidades de vegetación muy similares en otras zonas ribereñas del país. Esta heterogeneidad estructural y florística es importante en la dinámica de la comunidad, ya que estas especies afectan la disponibilidad de recursos para sus especies acompañantes, creando a su vez una mayor heterogeneidad de condiciones abióticas (Pickett y Rogers 1997), que pueden ser favorables y facilitar el establecimiento de otras especies (Swaine y Whitmore 1986).

En conjunto, las tres especies del género *Salix*: *S. humboldtiana*, *S. bonplandiana* y *S. taxifolia*, son elementos dominantes en el 67 por ciento de los tra-



mos fluviales analizados y definen a cuatro grupos florísticos (G6-G9) que incluyen tramos fluviales con régimen hidrológico permanente. En México, *S. bonplandiana* (sauz) y *S. humboldtiana* (sauce) se distribuyen prácticamente en los bosques de galería de todo el país (Ayala y Solano 2011), pero *S. humboldtiana* se establece desde el nivel del mar, mientras que *S. bonplandiana* se establece en altitudes por arriba de los 800 m. Ambas especies llegan a formar densos corredores riparios en zonas de terrenos aluviales sujetos a inundaciones periódicas de las avenidas de los ríos (Pennington y Sarukhán 2005).

*S. humboldtiana* define la comunidad riparia del 53 por ciento de tramos fluviales (grupos G6, G7 y G8) y se asocia de manera importante a *A. viminialis* y *P. dulce*, a excepción del grupo G6, que podría definirse como una formación «pura». También es relevante la dominancia de los arbustos *B. salicifolia* y *H. salicifolia* en el sotobosque de estos grupos florísticos, mientras que, en los tramos dominados por *S. bonplandiana* (G9), el arbusto *S. taxifolia* tiene un rol como especie codominante.

Si bien los tramos fluviales agrupados en G1 comparten características geomorfológicas similares con los tramos fluviales del grupo G9 (figura 3.9), tales como altitudes elevadas, cuencas pequeñas, valles parcialmente confinados, geologías volcánicas y un régimen hidrológico permanente, el grupo G1 está definido por *G. ulmifolia*, asociada de forma importante a otras leguminosas y con una baja dominancia de *S. bonplandiana*, *S. humboldtiana*, *Lysiloma acapulcense* y *L. microphylla*. La especie *G. ulmifolia* es considerada pionera en la vegetación secundaria, derivada de diversos tipos de vegetación, especialmente en zonas con la temporada seca bien marcada, como la que caracteriza a la cuenca de estudio, y se desarrolla en diferentes geologías (Pennington y Sarukhán 2005). Esta característica generalista aunada a una exitosa regeneración de la especie promovida por el pastoreo del ganado en zona ribereña y la fragmentación del espacio ripario generan condiciones para el exitoso establecimiento de esta especie. Es decir, la dominancia de *Guazuma ulmifolia* en tramos fluviales donde se esperaría encontrar una dominancia de *Salix* podría ser un indicador del grado de alteración de las riberas y posible evidencia de un proceso de reemplazo de *Salix* por *G. ulmifolia*; sin embargo, el planteamiento de una hipótesis de reemplazo sucesional en estas comunidades requiere de monitoreo ecológico a largo plazo.

Otro grupo de tramos fluviales ha quedado definido por la asociación de *Ficus insipida* como componente dominante del grupo florístico G2, con *E.*

*cyclocarpum* —que en estos tramos fluviales alcanza su mayor dominancia—, *Inga vera* y *Thevetia ovata*, formando una asociación claramente diferente al resto de los grupos florísticos. *F. insipida* se establece en la vegetación secundaria derivada de los tipos de vegetación localizados a bajas altitudes (Durán-Ramírez *et al.* 2010), como son los bosques tropicales caducifolio y subcaducifolio representativos en la cuenca.

El grupo florístico dominado por *A. viminalis* (sabino) en corrientes permanentes se asocia con frecuencia a *S. humboldtiana*, *P. dulce* y *B. salicifolia*, mientras que en tramos temporales está asociada a *H. terebinthinaceus* y el arbusto *H. salicifolia*. *A. viminalis* es otra de las especies ribereñas de amplia distribución en el país, especialmente en las zonas cubiertas por selva baja caducifolia y subcaducifolia, y bosque espinoso (aunque también se reporta para otros tipos de bosque templado como el mesófilo de montaña, pino y encino) (Pennington y Sarukhán 2005). Diversos autores indican la preferencia de esta especie por orillas o vegas arenosas de ríos o corrientes temporales donde el nivel freático es alto (Pennington y Sarukhán 2005). En la cuenca, *A. viminalis* se encuentra tanto en segmentos fluviales permanentes como en temporales, desde altitudes muy bajas en tramos cercanos a la desembocadura del río Ayuquila-Armería hasta los 1 400 m, alcanzando su mayor abundancia entre los 600 y 1 000 m s. n. m. (arroyos Las Palmas y San Palmar). Aunque no existe referencia de estudios sobre la presión que ésta especie nativa de México enfrenta en los ecosistemas riparios del país y tampoco se encuentra enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010, en el río Ayuquila-Armería es posible observar que las poblaciones de *A. viminalis* se encuentran muy fragmentadas y existe escasa regeneración natural debido al uso del fuego para limpieza de las riberas, corta de árboles para leña u otros usos domésticos, además de la desecación de los cauces y la falta de conectividad del cauce con las riberas. Estos pueden ser algunos de los factores limitantes de la permanencia de las poblaciones de esta especie.

El papel dominante de *T. donnell-smithii* (primavera) y *Croton* sp., en el grupo florístico (G4), ocurre en corrientes temporales, altitudes relativamente elevadas y pendientes fuertes, frecuentemente asociadas a *Ficus maxima* y *Casearia corymbosa*. Otra especie dominante en tramos fluviales temporales es *Celtis iguanaea* (representa al grupo G5). Este conjunto de especies es característico de los bosques tropicales de las zonas cálidas y semicálidas, en una variación muy amplia de condiciones geológicas como suelos de origen

volcánico, metamórfico o sedimentario (Pennington y Sarukhán 2005), adaptación que puede ser determinante en el éxito del establecimiento de estas especies en las riberas. *C. iguanaea* se asocia frecuentemente a la vegetación secundaria en la cercanía de cauces de ríos y arroyos, por lo que se considera sin problemas de supervivencia (Pérez-Calix y Carranza 1999).

La clasificación de las especies en grupos relativamente homogéneos en lo que se refiere a sus requerimientos ambientales es importante porque permite conformar patrones generales y hacer predicciones acerca de procesos a nivel de comunidad de cualquier sitio de estudio (Swaine y Whitmore 1988). De esta manera, se puede concluir que la ordenación directa indica que las variables ambientales de régimen hidrológico, pendiente, altitud y en menor medida, el tipo de sustrato, influyen directamente en la estructura de la comunidad y determinan la asociación de especies conformando grupos florísticos. Así, la dominancia de especies en las comunidades puede ser explicada por sus respuestas individuales a estos factores, además de los efectos de la presencia de otras especies.

# El estado ecológico de las riberas del río Ayuquila-Armería

## Introducción

El estado ecológico de los ríos es fundamental en la gestión de las cuencas hidrológicas, ya que afecta no solo al mantenimiento de la diversidad de las comunidades biológicas acuáticas y riparias, sino también a la provisión de muchas funciones ambientales. El concepto de *estado ecológico* es una expresión de la calidad y función de los ecosistemas acuáticos, y se evalúa considerando la calidad de los elementos biológicos, hidromorfológicos, químicos y físico-químicos que los soportan (European Commission 2000, Raven *et al.* 2002).

La evaluación de estatus de los ríos basado en indicadores biológicos ha sido ampliamente aplicada en diversas partes del mundo (Thorne *et al.* 1997; Mercado-Silva *et al.* 2002; Bozzetti y Schulz 2004, Haase y Nolte 2008, Moya *et al.* 2011, Couceiro *et al.* 2012). Desde la década de 1990 se han desarrollado diversos métodos para caracterizar la estructura de los ríos y evaluar la calidad del hábitat acuático y las riberas, y han sido descritos en diversas revisiones (por ejemplo, Raven *et al.* 2002, Balestrini *et al.* 2004, Kamp *et al.* 2007). Varias de estas numerosas metodologías para la valoración de las riberas se basan en técnicas de reconocimiento visual muy apropiadas para abordar extensas zonas fluviales. En ambientes mediterráneos, algunos de estos métodos dan especial importancia a la composición y estructura de la vegetación riparia, por ejemplo, el Índice de Calidad de los Bosques de Ribera (QBR) (Munné *et al.* 1998, 2003), el Índice para la Evaluación de la Calidad del Medio Fluvial (IVF) (Agència 2001), el índice Riparian Forest Evaluation (RFV) para la valoración del bosque de ribera (Magdaleno *et al.* 2010), y se han publicado otras herramientas basadas en la composición y estructura de la vegetación riparia como indicadoras de la calidad ecológica (Ferreira *et al.* 2002). Otras metodologías se basan más en las dimensiones de la ribera, la calidad del hábitat y el uso de la tierra (Petersen 1992, Bjorkland *et al.* 2001, Ward *et al.* 2003, Jansen *et al.* 2004).

Recientes directivas para la gestión de los ríos, como la Directiva Europea Marco del Agua (European Commission 2000) consideran los elementos hidromorfológicos, que de forma general están basados en el régimen hidrológico, la continuidad del río y las condiciones morfológicas, como elementos obligatorios para evaluar el estado ecológico de los ríos europeos para su gestión, monitoreo o mejora (Boon *et al.* 1998, European Commission 2000, Raven *et al.* 2002, Barquín *et al.* 2011). Bajo esta perspectiva, recientemente se han incorporado otras metodologías que evalúan la calidad hidromorfológica fluvial de los ríos, como el índice IHG, desarrollado por Ollero *et al.* (2008, 2011). Otro índice reconocido para evaluar la calidad de las zonas riparias con enfoque hidrogeomorfológico es el Índice de Calidad de las Riberas (RQI) (González del Tánago *et al.* 2006, González del Tánago y García de Jalón 2011), que propone una metodología de aplicación visual en campo, atendiendo a su estructura y funcionamiento comparando su estado actual con un apropiado estado de referencia correspondiente a la ausencia de intervención antrópica. El índice ha sido aplicado en diversos ríos españoles (Barquín *et al.* 2011, Belmar *et al.* 2013, Fernández *et al.* 2014) y ha sido comparado con el índice QBR, mostrando muy buenos resultados (Barquín *et al.* 2011).

En América Latina se tienen algunas experiencias en la valoración del estado ecológico de los ríos. Por ejemplo; en Chile, en el marco de la aplicación de la normatividad chilena en materia de calidad ambiental, se ha propuesto un protocolo de monitoreo bajo el enfoque de integridad biológica para la protección de los ecosistemas acuáticos (Cenma 2010), en el cual se han incluido índices desarrollados para climas mediterráneos en la península ibérica. Por ejemplo, Palma *et al.* (2009) realizó uno de los primeros trabajos en sistemas fluviales mediterráneos sudamericanos, con la aplicación del índice QBR (Munné *et al.* 1998, 2003) para la valoración de las riberas y el índice IHF propuesto por Pardo *et al.* (2002) para el hábitat fluvial. Existen otras experiencias en ríos chilenos (Fernández *et al.* 2009), en ríos de Ecuador y Perú (Acosta *et al.* 2009), y en Argentina se ha utilizado en cursos de agua de la provincia de Tucumán (Kutschker *et al.* 2009).

En México, el tema de la valoración de las riberas para la conservación y restauración de los ríos es relativamente nuevo y está motivado por la trayectoria de deterioro que actualmente presentan estos ecosistemas (Garrido *et al.* 2010). Algunos trabajos de valoración del estado de las riberas en México se encuentran en Rodríguez-Téllez *et al.* (2012) y Solís *et al.* (2011),

ambos usaron el índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR) (Munéé *et al.* 1998, 2003). También se encuentra el trabajo de Pérez-Munguía y Pineda (2005) con el índice de Calidad Ambiental Visual (ICAV), basado en el protocolo de Barbour (1999) y Suárez *et al.* (2010) con la aplicación del índice de estado de alteración (IAR). La valoración del estado ecológico de los ríos mexicanos es un tema de enorme interés en el marco de la recientemente publicada Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 para la determinación del caudal ecológico. En conclusión, existe una necesidad de evaluar, por una parte, el estado de integridad ecológica que guardan los ríos en México, y por otra, la calidad de las riberas con una perspectiva más integral, que incorpore la valoración de atributos de su estructura y funcionamiento dinámico. Asimismo, resulta necesario analizar la aplicabilidad de los métodos existentes en los ríos de México.

Los objetivos que se han planteado para ese capítulo son evaluar la calidad de las riberas del río Ayuquila-Armería y sus principales tributarios a partir de atributos de su estructura y funcionamiento, y la aplicación del Índice de Calidad de las Riberas (RQI), así como identificar tramos fluviales de interés para la conservación, protección y restauración de las riberas en la cuenca de estudio. Finalmente, se propone discutir la aplicabilidad del índice RQI en ríos de la cuenca y su potencial de adecuación para su aplicación a otros ríos de México.

## Metodología

### *Definición de los tramos fluviales de estudio*

Esta investigación se realizó en los tramos fluviales donde se llevó a cabo el estudio de la composición y estructura de la vegetación ribereña desarrollada en el capítulo 3, que a su vez son unidades de estudio que corresponden a los segmentos fluviales diferenciados en el trabajo de caracterización y clasificación tipológica desarrollado en el capítulo 2 de este libro. De esta forma, para la selección de los tramos de estudio se tomó como criterio la representatividad de los 13 tipos de segmentos fluviales diferenciados en la cuenca de estudio previamente (capítulo 2), evitando los tramos fluviales más alterados, y teniendo en cuenta la accesibilidad y seguridad del sitio.

Se seleccionó un total de 71 tramos fluviales, cuya distribución en los diferentes tipos de segmentos se muestra en la tabla 4.1. Existe una distribu-

ción heterogénea del número de tramos por tipología, y es el tipo 7 el que tiene mayor representatividad (con 20 tramos); esto se explica porque estos tramos corresponden a las riberas del cauce principal del río Ayuquila-Armería y Tuxcacuesco, en zonas de mayor accesibilidad. Además del tramo fluvial del tipo 8 y algunos del tipo 6, el resto corresponde a tramos fluviales de corrientes tributarias permanentes y temporales de los principales ríos de la cuenca (tabla 4.1, figura 4.1). Para guiar la ubicación en campo de los tramos fluviales de estudio se utilizó el mapa Google Earth 2010 y 2011 versión gratuita y mapas topográficos y de la red hidrológica a escala 1:50 000.

**Tabla 4.1:** Número de tramos fluviales de estudio y sus correspondientes tipologías

Tipología del tramo	Tramos totales	Tramos de estudio	Descripción
1	8	6	Permanentes de montaña, origen volcánico, cuencas pequeñas, con pendientes muy altas
2	14	3	Permanentes de montaña, volcánicos, cuencas medianas, con pendientes altas
3	19	10	Permanentes de montaña, volcánicos, cuencas medianas, con pendientes medias
4	13	6	Permanentes de montaña, volcánicos, cuencas medianas, con pendientes bajas
5	4	1	Permanentes de montaña, volcánicos, cuencas medianas, con pendientes medias
6	9	7	Permanentes submontanos, sedimentarios, cuencas medianas, con pendientes medias
7	21	20	Permanentes submontanos, sedimentarias, cuencas grandes, con bajas pendientes
8	3	1	Permanentes en tierras bajas, sedimentarias, cuencas grandes, con bajas pendientes
9	6	5	Temporales de montaña, volcánicos, cuencas pequeñas, pendientes muy altas
10	5	5	Temporales submontanos, volcánicos y sedimentarios, cuencas pequeñas, pendientes medias
11	10	5	Temporales de montaña, volcánicos, cuencas pequeñas, pendientes medias
12	4	1	Temporales de montaña, volcánicos, cuencas medianas, pendientes medias
13	3	1	Temporales submontanos, sedimentarios, cuencas medianas, pendientes medias

**Mapa 4.1:** Mapa de localización de los tramos fluviales de estudio en la cuenca del río Ayuquila-Armería



### *Valoración de la calidad de las riberas*

Para evaluar la calidad de las riberas se aplicó el Índice de Calidad de la Riberas (RQI-Riparian Quality Index) propuesto por González del Tánago y



García de Jalón (2011). Este evalúa la estructura y funcionamiento dinámico de las riberas a través de siete atributos de reconocimiento visual en campo y que se describen a continuación. Los atributos que caracterizan la estructura de las riberas son la *continuidad longitudinal de la vegetación*, la *dimensión transversal del espacio fluvial* ocupado por la vegetación riparia natural y la *composición y estructura de la vegetación riparia*. Estos atributos definen la morfología de las riberas y representan el espacio donde tienen lugar las funciones ribereñas. Mientras que el funcionamiento de los sistemas riparios se refleja a través de la tasa de *regeneración natural de las especies leñosas riparias*, la *condición de las orillas*, la *conectividad transversal del cauce con sus riberas* y la *permeabilidad de los suelos riparios* (figura 4.2, tabla 4.2).

**Figura 4.2:** Atributos que caracterizan la estructura (a) y el funcionamiento (b) de las riberas fluviales



**Fuente:** Adaptación del original de González del Tánago *et al.* (2006). Río Tecolotlán, subcuenca del río Tuxcacuesco, Jalisco, México.

La valoración se realizó en tramos de 500 m de longitud a lo largo del corredor ripario, y se analizaron el cauce y la franja de vegetación presente en las orillas del cauce y llanuras de inundación. La anchura de la ribera ocupada por la banda de vegetación fue variable, según las condiciones presentes en cada tramo (por ejemplo, el tipo de valle o las condiciones de perturbación antrópica existentes). Cada atributo se valoró en campo de forma independiente, siguiendo el protocolo de evaluación y las tablas de puntuación del RQI (González del Tánago y García de Jalón 2011), en donde se descri-

ben los aspectos a observar y evaluar para cada uno de ellos para otorgarles la puntuación. En la tabla 4.3 se muestra un ejemplo para evaluar el primer atributo del índice, correspondiente a las dimensiones en anchura del espacio ripario. El índice contiene una tabla similar por cada atributo. La valoración total del estado de las riberas se obtuvo sumando los valores asignados a cada uno de los siete atributos. El valor total oscila entre <10 y 150 puntos, en donde el menor puntaje corresponde al estado más degradado y el mayor puntaje al mejor estado de conservación. Los valores del índice (estado de la ribera) corresponden a las siguientes clases: <10 (Muy malo), 10-39 (Malo), 40-69 (Pobre), 70-99 (Moderado), 100-129 (Bueno) y 130-150 (Muy bueno).

**Tabla 4.2:** Atributos de valoración del índice RQI

Atributo de valoración	Importancia ecológica	Forma de evaluación
Dimensiones en anchura del espacio ripario con vegetación natural asociada al río	Evalúa la magnitud del espacio donde tienen lugar los procesos y funciones ecológicas del corredor fluvial (almacenamiento de agua, disipación de energía, la vegetación, etcétera).	Se identifica la anchura del corredor de vegetación riparia y se observa la presencia de restricciones debido a la influencia humana. Toma en consideración que las dimensiones de la ribera pueden ser reducidas de manera natural en valles confinados.
Continuidad longitudinal, cobertura y patrón de distribución de la vegetación leñosa riparia	Es una característica natural del patrón de distribución de la vegetación leñosa riparia en el paisaje fluvial. Asegura la existencia de un corredor, a lo largo del cual se desarrolla el movimiento y transporte de materia, energía y especies.	Se estima basándose en la continuidad del corredor de vegetación riparia presente en el tramo fluvial, estimando la intensidad de la fragmentación con base en el tamaño y frecuencia de áreas abiertas formadas por la acción humana y el uso del suelo.
Composición y estructura de la vegetación riparia	La composición de especies nativas y la estructura de los estratos de vegetación riparia son indicadores de su «calidad» y naturalidad.	Se identifica la composición de especies, densidad y altura de los estratos de la vegetación riparia del tramo de estudio. Este aspecto se valora en relación con las condiciones de referencia o de la vegetación potencial que corresponde al tramo según su tipología. La presencia de especies introducidas indica alteración antrópica.
Diversidad de edades y regeneración natural de especies leñosas	Es un indicador del grado de equilibrio de la vegetación existente con el actual régimen de caudales y otras intervenciones humanas.	Evalúa la diversidad de edades y regeneración de las principales especies leñosas ribereñas. La ausencia de renuevos indica falta de dinámica fluvial y riesgo de desaparición de la vegetación actual.
Condición de las orillas	La condición de orillas es un indicador de la dinámica y naturalidad del cauce, además de que refleja la calidad del hábitat físico.	Se observan procesos de erosión y sedimentación locales relacionadas con la sinuosidad del cauce.

Atributo de valoración	Importancia ecológica	Forma de evaluación
Conectividad transversal del cauce con sus riberas	La conectividad transversal se refiere a la conexión hidrológica y ecológica que existe de forma natural entre el cauce y sus riberas, puesta de manifiesto durante las avenidas, a partir de la cual se establece el intercambio de materia y energía entre el cauce y su llanura de inundación.	Se califica la proximidad de restricciones físicas que impidan la conexión del cauce con su ribera. Se observa la intensidad de las regulaciones del flujo hidrológico en relación con la frecuencia de inundación o conexión hidrológica.
Calidad del sustrato y conectividad vertical	Es un indicador de la capacidad de conectividad vertical del cauce y su ribera con el medio hiporréico y los acuíferos locales, de gran importancia para el intercambio hidrológico y ecológico en el conjunto del sistema fluvial. La compactación o sellado del suelo ripario dificulta estas funciones.	Se observa el tipo y permeabilidad de los materiales que predominan en las riberas, y se evalúa su capacidad de infiltración y recarga de acuíferos.

**Fuente:** González del Tánago y García de Jalón (2011).

### ***Características físicas de los tramos fluviales***

Para cada tramo fluvial se asociaron las siguientes variables hidromorfológicas, que corresponden a la escala del segmento fluvial (tabla 4.4): pendiente longitudinal, tamaño de cuenca vertiente al segmento y el valor del índice de regulación hidrológica. Los datos de las primeras dos variables provienen de la caracterización de los segmentos fluviales de la red fluvial desarrollada en el capítulo 2 de este libro. El índice de regulación hidrológica ( $I_{Reg}$ ) es el resultado de la capacidad de almacenamiento de los embalses ubicados en la cuenca vertiente divididos por su aportación del escurrimiento promedio anual al segmento fluvial. La fuente de datos de los caudales promedio anuales fueron proporcionados por Meza (2017), y fueron estimados utilizando el modelo de precipitación-aportación de Témez (1977). A escala de tramo fluvial se midió la altitud (m s. n. m.), anchura del cauce (m) y anchura de la vegetación ribereña (m) en los sitios de estudio.

### ***Análisis de datos***

Los valores obtenidos para cada uno de los siete atributos del RQI se analizan en conjunto para la totalidad de los tramos de muestreo a través de una estadística descriptiva. Para analizar la relación entre las variables físicas de los tramos fluviales y los resultados del índice se exploraron los datos obtenidos de forma conjunta a través de un análisis de componentes principales (PCA) del paquete estadístico PC-ORD versión 5.10 (McCune y Grace 2002),

sobre una matriz de 71 tramos de muestreo con las puntuaciones obtenidas para cada uno de los siete atributos que integran el índice, y las variables físicas de altitud (m s. n. m.) e índice de regulación hidrológica.

**Tabla 4.3:** Puntuaciones del RQI para evaluar el atributo que corresponde a las dimensiones en anchura del espacio ribereño, que incluye una descripción de los aspectos a considerar al momento de otorgar la puntuación a este atributo

DIMENSIÓN DEL ESPACIO ASOCIADO AL RÍO CON VEGETACIÓN RIBEREÑA [ANCHURA PROMEDIO DEL CORREDOR RIBEREÑO]														
Muy buena			Buena			Moderada			Pobre			Mala		
<p>No hay restricciones en el desarrollo y extensión de la vegetación riparia a través del valle debido a la inexistente influencia humana.</p> <p>La vegetación ribereña se conecta con especies de la ladera de regiones más altas y cubre todo el territorio que va entre el cauce y las laderas adyacentes.</p>			<p>Presenta una anchura promedio en el corredor ribereño que se encuentra ligeramente restringida por las actividades humanas.</p> <p>En valles no confinados, la anchura promedio equivale a 3 veces el ancho del cauce, o excede los 60 m. En valles morfológicamente confinados, si la reducción del ancho de la ribera afecta a menos del 30 por ciento de la longitud de la ribera.</p>			<p>Con un ancho promedio en el corredor ribereño que está moderadamente restringido por las actividades humanas.</p> <p>En valles no confinados si el ancho promedio equivale a entre una y tres veces el ancho del cauce activo, o si excede los 30 m. En el caso de valles confinados, si la reducción del corredor ribereño afecta entre el 30 y 60 por ciento de la longitud de la ribera.</p>			<p>Anchura promedio del corredor ribereño reducido significativamente por la influencia humana.</p> <p>En valles no confinados, el ancho promedio equivale a menos del ancho del cauce. En valles confinados, la reducción en la anchura afecta a más del 60 por ciento de la extensión de la ribera.</p>			<p>La anchura promedio del corredor ribereño severamente reducida, o inexistente debido a la acción humana.</p> <p>Cauces conectados a campos agrícolas, áreas urbanas o caminos. Se considera el valor de 0 cuando el cauce está literalmente restringido y conectado a zonas pavimentadas en donde la vegetación de ribera no puede crecer.</p>		
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

**Fuente:** Traducción propia a partir de González del Tánago y García de Jalón (2011).

Para observar una relación entre los atributos del índice y variables ambientales, se analizó la correlación de los valores del eje 1 y el eje 2 de la ordenación con: a) altitud (m s. n. m.), b) tipo de valle, c) anchura del cauce, d) pendiente longitudinal, e) tamaño de cuenca vertiente y f) el valor del ín-

dice de regulación hidrológica (tabla 4.4) a través de pruebas de Pearson ( $P < 0.05$ ). Finalmente, se hizo una comparación entre los valores de calidad de las riberas con la altitud y las tipologías de ríos a través de comparaciones múltiples no paramétricas (Kruskal-Wallis).

**Tabla 4.4:** Variables físicas de los segmentos fluviales de estudio utilizados en los análisis

Nivel de estudio	Características	Variables	Abreviatura
Cuenca vertiente	Tamaño de cuenca vertiente acumulada al segmento fluvial	km <sup>2</sup>	Tam_CV
Segmento fluvial	Tipo de régimen de caudales	Permanente	R_P
		Temporal	R_T
	Pendiente longitudinal promedio	Porcentaje	Pend [%]
	Índice de regulación hidrológica	Hm3	I_Reg
	Altitud	m s. n. m.	Alt
Tramo fluvial	Tipo de Valle (TdeValle)	Confinado	C
		Parcialmente confinado	Par-C
		No confinado	No-C
	Sustrato dominante del lecho del río	Grandes bloques (>1000 mm)	Gbl
		Bolos (>500-1000 mm)	Bol
		Cantos (130-500 mm)	Can
	Guijarros (25-130 mm)	Gui	
	Gravas (<25 mm)	Gra	
	Arenas (<2.5 mm)	Are	

Finalmente, se realizaron exploraciones estadísticas de modelos predictivos de tipo lineal, binomial y poissoniano, así como árboles de regresión para identificar posibles atributos del RQI fuertemente relacionados con variables ambientales y con alto valor predictivo del estado de las riberas.

## Resultados

A continuación se muestran los resultados de la valoración del estado ecológico de las riberas, a partir de la aplicación del índice RQI. Estos resulta-

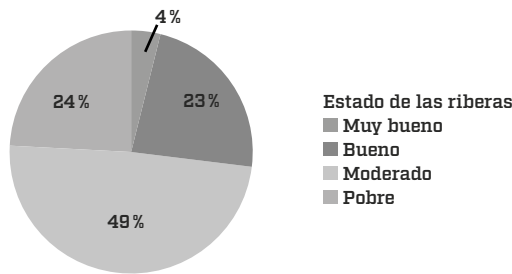
dos aportan un primer panorama del estado que guardan las riberas en el río Ayuquila-Armería y principales tributarios, analizados desde la perspectiva de la dinámica fluvial.

### ***Estado de las riberas***

Los valores obtenidos de la aplicación del RQI para los 71 tramos fluviales de estudio muestreo, indican que solo 3 (4 %) tramos fluviales presentan un estado muy bueno (RQI: 130-150), 16 (23 %) un estado bueno (RQI: 100-129), 35 (49 %) tiene un estado moderado o regular (RQI: 70-99) y 17 (24 %) presentan un estado pobre (RQI: 40-69) (tabla 4.5, figura 4.3). No se obtuvieron valoraciones de un estado malo o muy malo.

El análisis de correlación aplicado a los valores del índice y la variable «zonación de los tramos» de estudio (en tramos altos, medios y bajos del río correspondiente) muestra una diferenciación significativa de la disminución de la calidad de las riberas desde la cabecera a la desembocadura (coeficiente de correlación de Pearson,  $r = -0.343$ ,  $p < 0.01$ ), es decir, que los tramos de cabecera tienen los valores del RQI más altos, seguidos por los tramos medios y por último, los tramos bajos de los ríos de estudio (tabla 4.6).

**Figura 4.3:** Porcentaje de tramos fluviales para cada escala de valoración del estado de las riberas, de acuerdo con las puntuaciones del índice RQI obtenidas



Las escalas corresponden a las siguientes puntuaciones: Muy bueno [130-150], bueno [100-129], regular o moderado [70-99] y pobre [40-69]. No se observaron tramos con estado malo [39-10] o muy malo [ $<10$ ].

**Tabla 4.5:** Puntuaciones obtenidas para los siete atributos del RQI y el valor total para los 71 tramos de estudio

Nombre del tramo	Dimensión del espacio ripario		Continuidad longitudinal		Composición y estructura de vegetación riparia		Edades y regeneración natural	Con-dición de las orillas	Conec-tividad trans-versal	Conec-tividad sustrato y vertical	Valor total RQI	Estado de las riberas
	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.						
El Salatillo-Tigre	14	14	14	14	12	12	9	14	15	15	133	Muy bueno
Ejutlal-1	14	14	14	14	12	12	11	14	14	14	133	Muy bueno
Jiquilpan3	14	14	13	13	12	12	10	14	14	14	130	Muy bueno
Cerro Blanco1	12	14	12	12	14	14	5	12	14	14	123	Muy bueno
El Remate	14	14	14	14	8	8	6	14	14	14	120	Muy bueno
Ferrería1	8	8	12	12	13	13	12	12	14	14	118	Bueno
San Juan Cacoma	12	12	11	11	12	12	5	12	15	15	117	Bueno
Armería 9-1	11	11	11	11	12	12	11	12	12	13	116	Bueno
Manantlán	10	12	11	11	10	10	8	14	14	14	114	Bueno
El Coejin-que3	12	12	10	10	11	11	5	12	15	15	113	Bueno
Telcampaña	12	12	12	12	9	9	10	12	12	12	112	Bueno
El Cangrejo	9	9	9	9	14	14	6	11	14	15	110	Bueno
Las Juntas2	11	8	12	9	12	12	9	12	12	12	109	Bueno
La Yerba-buena3	11	11	11	11	11	11	10	11	11	10	108	Bueno

El estado ecológico de las riberas del río Ayuquila-Armería

Nombre del tramo	Dimensión del espacio ripario		Continuidad longitudinal		Composición y estructura de vegetación riparia		Edades y regeneración natural	Condicción de las orillas	Conectividad transversal	Conectividad sustrato y vertical	Valor total RQI	Estado de las riberas
	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.						
El Salatillo1	9	9	8	8	12	12	9	14	15	12	108	Bueno
Ayuquila2-1	11	12	9	9	10	10	5	11	14	14	105	Bueno
Pichitota	8	8	8	8	12	12	7	12	14	14	103	Bueno
Las Palmas	10	10	10	10	11	11	6	9	14	12	103	Bueno
Ayuquila-Ayutla	11	11	11	11	8	8	4	12	11	13	100	Bueno
Ayutla1-2	8	8	9	9	11	11	5	10	14	14	99	Regular
Ejutla1-2	11	8	11	11	8	8	5	11	11	14	98	Regular
Alseseca1	7	7	9	9	11	11	6	12	14	12	98	Regular
San Juan-Comala	12	12	12	12	11	11	4	6	6	12	98	Regular
Armería9-2	11	8	11	6	11	11	6	8	12	12	96	Regular
El Huacal	10	10	11	8	10	10	5	8	12	12	96	Regular
Ayuquila1	8	8	9	9	7	7	8	11	14	14	95	Regular
Ferretal-2	12	5	11	5	12	5	6	11	14	14	95	Regular
Tuxcacuesco2	9	9	10	10	7	7	7	11	14	11	95	Regular
Armería10-2	10	8	11	9	10	10	4	8	11	12	93	Regular
Los Fresnos	8	8	9	9	10	10	3	12	8	14	91	Regular
San Palmar	9	7	9	9	9	7	7	9	12	13	91	Regular



Nombre del tramo	Dimensión del espacio ripario		Continuidad longitudinal		Composición y estructura de la vegetación riparia		Edades y regeneración natural	Condición de las orillas	Conectividad transversal	Conectividad sustrato y vertical	Valor total RQI	Estado de las riberas
	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.						
Tecolotlán	3	8	4	9	10	12	8	10	11	14	89	Regular
La Yerba buena1	12	4	12	4	9	9	10	9	11	9	89	Regular
El Salado	8	8	8	8	11	11	5	7	9	14	89	Regular
San Antonio1	4	9	5	9	6	10	4	12	14	14	87	Regular
Ayuquila3_3	8	8	9	9	5	5	4	9	14	14	85	Regular
El Pochote	7	10	7	9	7	8	6	8	8	13	83	Regular
Atengo4-2	6	6	7	7	7	7	7	8	14	12	81	Regular
El Jalocote2	12	5	11	5	8	6	4	11	5	14	81	Regular
Miraplanes	5	4	6	5	12	10	5	8	11	14	80	Regular
Tamazula1	6	6	6	8	7	7	5	10	13	12	80	Regular
Tuxcacuesco3	6	6	8	8	7	7	4	8	12	14	80	Regular
Tonayal-1	8	6	8	5	6	5	5	11	14	12	80	Regular
Tuxcacuescol-1	7	7	8	5	6	5	5	11	14	12	80	Regular

Nombre del tramo	Dimensión del espacio ripario		Continuidad longitudinal		Composición y estructura de vegetación riparia		Edades y regeneración natural	Condicción de las orillas	Conectividad transversal	Conectividad sustrato y vertical	Valor total RQI	Estado de las riberas
	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.						
Armeria1-1	4	5	4	8	8	8	6	10	14	12	79	Regular
Tamazula2	5	7	8	8	6	6	3	10	13	12	78	Regular
Tamazula3-1	7	7	6	6	7	7	5	7	13	12	77	Regular
Tonaya1-3	6	6	7	7	8	8	6	10	9	10	77	Regular
Barranca Honda	8	8	4	6	5	5	3	12	14	12	77	Regular
Armeria7-2	7	4	8	5	9	9	4	5	12	12	75	Regular
La Joya-Atengo	8	5	7	3	6	4	3	8	14	14	72	Regular
Roble Gordol	3	5	4	6	4	6	6	10	14	14	72	Regular
Los Guajes2	6	4	6	4	4	4	3	11	14	14	70	Regular
El Cuapastle	4	5	4	5	5	8	4	8	14	13	70	Regular
Armeria1-2	4	4	5	6	5	5	5	9	14	12	69	Pobre
Nogueras	7	5	6	6	9	9	3	6	6	12	69	Pobre
Las Garrochasi	5	5	4	5	4	4	3	8	14	14	66	Pobre

Nombre del tramo	Dimensión del espacio ripario		Continuidad longitudinal		Composición y estructura de vegetación riparia		Edades y regeneración natural	Condición de las orillas	Conectividad transversal	Conectividad sustrato y vertical	Valor total RQI	Estado de las riberas
	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.						
Ayutla-Atengo1	5	5	5	5	7	7	3	6	14	8	65	Pobre
Armería4	8	5	8	5	7	7	4	8	5	8	65	Pobre
Atengo3	5	3	5	2	8	4	2	8	14	9	60	Pobre
Colima1	6	2	8	2	7	2	2	6	12	12	59	Pobre
Arroyo Seco1	5	5	5	5	7	7	2	5	7	8	56	Pobre
Sta. María	5	5	6	6	6	6	3	4	5	9	55	Pobre
Tuxcacues-col-2	5	4	5	4	4	4	4	5	11	9	55	Pobre
Charco Verde	3	4	4	4	9	6	5	5	7	8	55	Pobre
Armería10-1	4	4	5	5	4	4	4	5	11	8	54	Pobre
Ayuquila5	6	5	8	5	7	3	3	5	6	5	53	Pobre
Armería1-1	2	5	3	6	9	5	4	6	6	6	52	Pobre
Ayuquila4	5	5	5	5	4	4	3	5	7	5	48	Pobre
Ayuquila3-2	4	3	6	4	4	4	3	5	7	5	45	Pobre

Nombre del tramo	Dimensión del espacio ripario		Continuidad longitudinal		Composición y estructura de vegetación riparia		Edades y regeneración natural	Condicción de las orillas	Conectividad transversal	Conectividad sustrato y vertical	Valor total RPI	Estado de las riberas
	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.						
Valle_El Grullo	4	4	5	4	5	5	3	5	4	5	44	Pobre
Mínimo	2	2	3	2	4	2	2	4	4	5	58	
Máximo	14	14	14	14	14	14	12	14	15	15	173	
Media	7.9	7.45	8.23	7.65	8.46	8.11	5.42	9.37	11.7	11.92	110.21	
Desv. típ.	3.14	3.13	2.91	2.98	2.77	3.01	2.39	2.78	3.09	2.66	29.86	

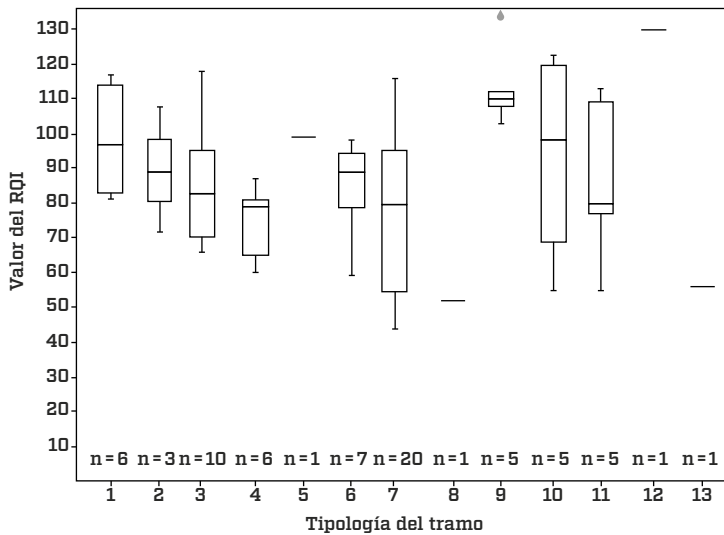
**Tabla 4.6:** Análisis descriptivos de los valores del RQI para la zonación de los tramos

Zonación del río	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Tramos de cabecera	16	60	133	100.88	24.07
Tramos medios	20	45	123	84.55	21.20
Tramos bajos	35	44	120	80.46	19.76
Total	71	44	133	86.21	22.41

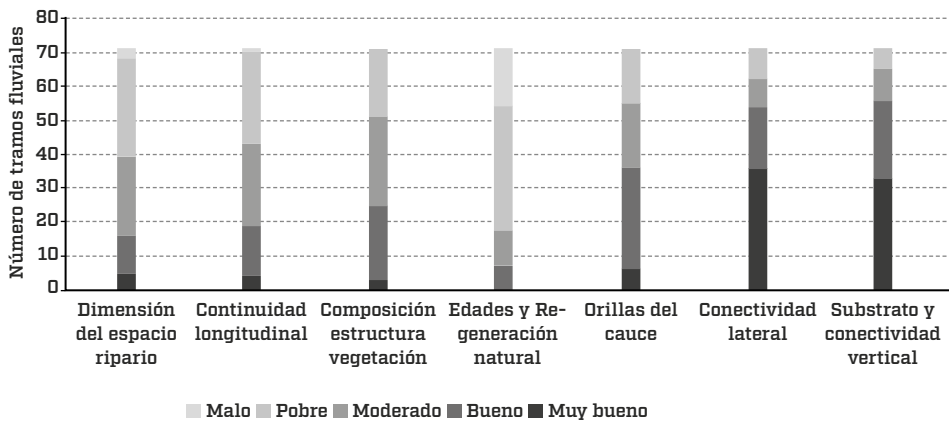
Al analizar los valores medios del RQI diferenciando las tipologías de los tramos fluviales es posible observar que los valores del RQI más altos son para los tramos del tipo 12 y tipo 9, los valores de la media obtenida corresponden a un estado muy bueno y bueno de las riberas, respectivamente (figura 4.4). Ambas tipologías corresponden a tramos de ríos temporales de montaña con cuencas pequeñas y medianas. Los tipos de tramo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10 y 11 tienen un estado moderado o regular, agrupando tramos tanto de ríos permanentes (tipos del 1 al 7), como temporales montañosos y submontañosos (tipos 10 y 11). Finalmente, los tipos 8 y 13 presentan los valores promedio más bajos de todo los tramos, que corresponden a un estado pobre de las riberas. En estos casos, es importante resaltar que el tipo 8 agrupa tramos fluviales de la zona baja del río principal, con bajas pendientes y valles abiertos. No obstante, no existe una correlación significativa entre los valores del RQI y las tipologías de los tramos fluviales (coeficiente de Pearson,  $r = 0.02$ ,  $p > 0.05$ ).

Los resultados de la valoración de cada uno de los siete atributos del índice RQI para la totalidad de los tramos fluviales (tabla 4.5, figura 4.5) indica que los atributos con las mayores puntuaciones (valor medio  $\pm$  desviación típica) son la conectividad vertical ( $11.92 \pm 2.62$ ) y conectividad transversal ( $11.70 \pm 3.09$ ), y son los atributos mejor conservados en el 75 por ciento de los tramos estudiados analizados. Después de estos atributos, es la condición de las orillas la que presenta puntuaciones altas ( $9.37 \pm 2.78$ ) y se mantiene en buen estado en un 50 por ciento de los tramos. Contrario a este patrón, se puede observar que la regeneración natural es el atributo más afectado en el conjunto de tramos analizados ( $5.42 \pm 2.39$ ), en donde el 52 por ciento de las riberas mantiene una regeneración pobre y mala, limitada frecuentemente a especies como *Salix humboldtiana* y *S. taxifolia* y que ocurre generalmente en las orillas y áreas más próximas al cauce.

**Figura 4.4:** Diagrama de cajas para el valor del RQI por tipologías de los tramos fluviales de estudio



**Figura 4.5:** Estado de las riberas de acuerdo con los atributos del RQI en los 71 tramos fluviales del río Ayuquila-Armería

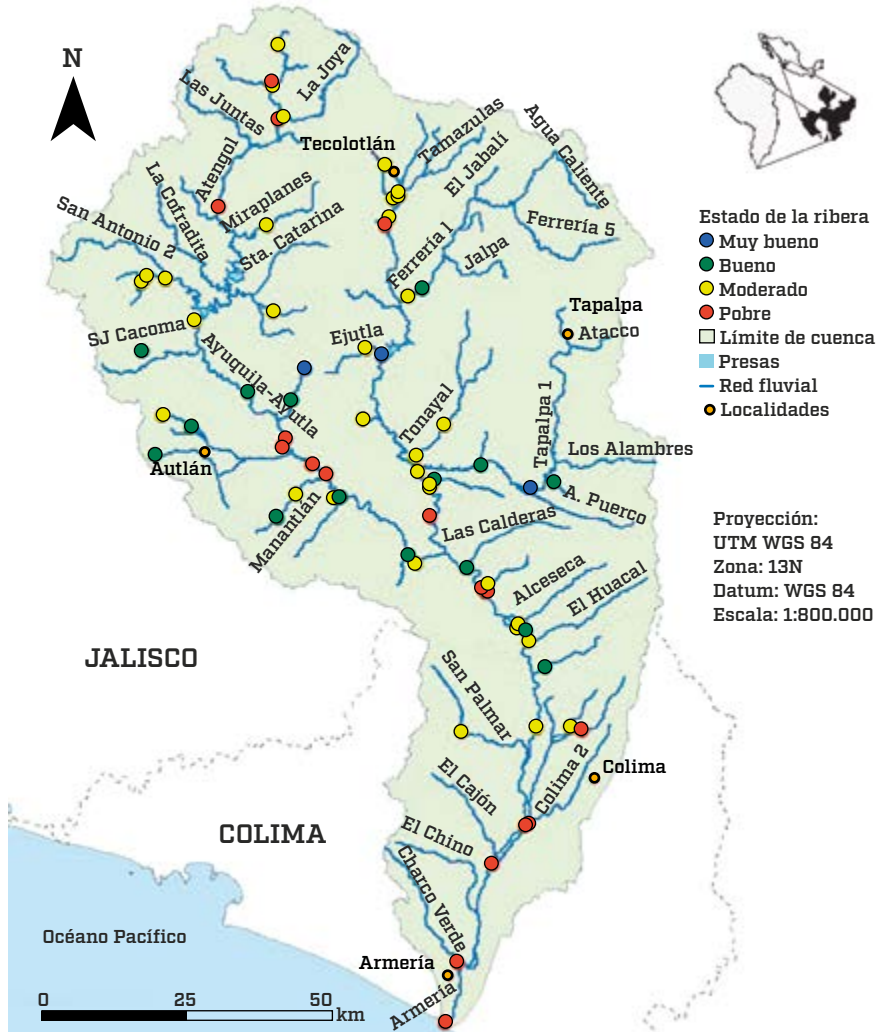


Respecto a los atributos que definen la estructura de la riberas, también presentan puntuaciones muy bajas; dimensión del espacio ripario ( $7.17 \pm 3.14$ ), continuidad longitudinal ( $7.94 \pm 2.5$ ) y composición y estructura de

la vegetación ( $8.29 \pm 2.89$ ). Estos atributos se encuentran alterados en un 55 por ciento de los tramos de estudio. La puntuación máxima para cada atributo es de 15 puntos.

La distribución y representación del estado de las riberas en los tramos fluviales de estudio se pueden observar en la figura 4.6.

**Figura 4.6:** Evaluación de la calidad de las riberas en la cuenca del río Ayuquila-Armería, usando la metodología RQI



### ***Estado de las riberas y factores ambientales***

Con el objetivo de conocer qué variables explican mejor los cambios en el estado de las riberas, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) sobre la matriz de los 71 tramos de estudio, introduciendo como variables la puntuación de los siete atributos del índice, la altitud y el índice de regulación hidrológica. Los resultados del análisis muestran que los primeros tres ejes explican el 77.1 por ciento del total de la varianza (tabla 4.7).

**Tabla 4.7:** Resultados del análisis de componentes principales efectuado sobre la matriz de datos

	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Varianza explicada (%)	49.48	16.53	11.12
Varianza acumulada (%)	49.48	66.01	77.13
Altitud (ALT)	-0.302	0.787	
Dimensión espacio ripario (DER)	-0.860	-0.292	
Continuidad longitudinal (C_Long)	-0.865	-0.354	
Composición y estructura (CyE)	-0.739	-0.369	
Regeneración natural (RN)	-0.728		
Condición de orillas (Orillas)	-0.890		
Conectividad lateral (C_Lateral)	-0.611	0.544	
Conectividad vertical (C_Vert)	-0.764	0.367	
Regulación hidrológica (I_Reg)			0.959

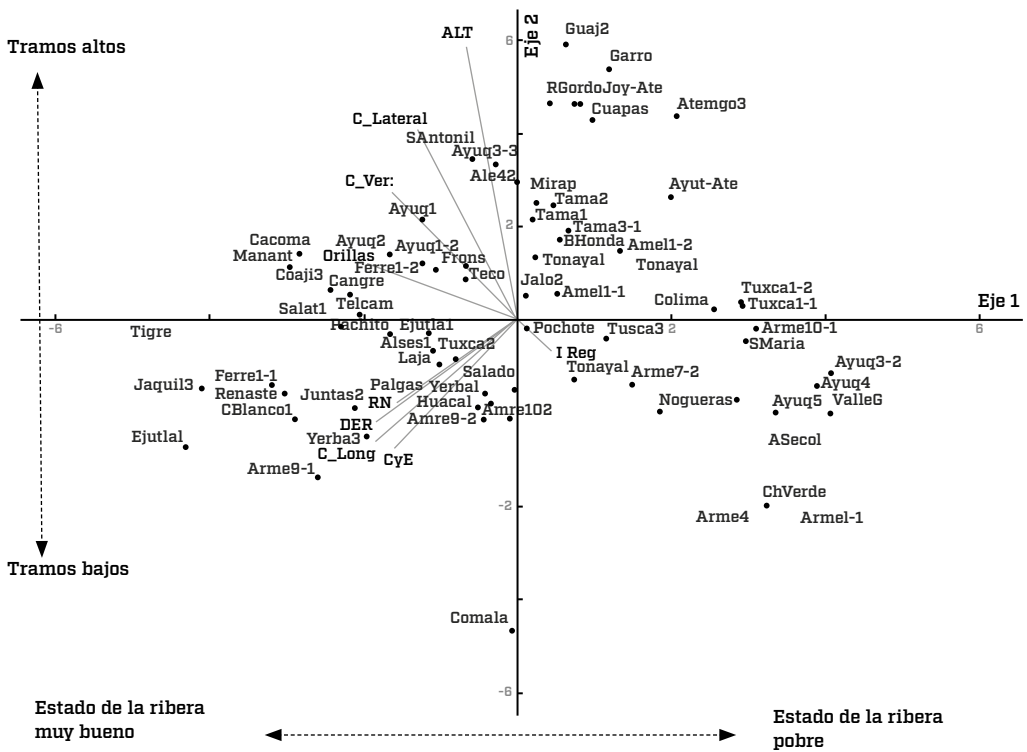
Porcentaje de varianza explicada por cada uno de los tres primeros componentes y correlaciones Pearson obtenidos entre las variables iniciales y cada uno de ellos (los valores menores de 0.25 no se muestran).

La ordenación de los tramos de estudio en el plano definido por los ejes 1 y 2 se presenta en la figura 4.7. En una primera interpretación del eje 1 en términos de rangos de calidad o estado de las riberas, se puede distinguir un gradiente de tramos según el estado de sus riberas separando así los de riberas en muy buen y buen estado hidromorfológico (sentido negativo del eje) de aquellos que tienen riberas en un estado pobre en sus condiciones hidromorfológicas. La variable altitud tiene menor peso en este eje. En el eje 2, muestra un gradiente en relación con la altitud, separando los tramos altos (sentido positivo del eje) asociados a una mayor conectividad transversal y vertical de los tramos de altitudes bajas (sentido negativo del eje) y a una



mayor dimensión del espacio ripario, conectividad longitudinal y composición y estructura de la vegetación. Por último, el tercer eje quedó asociado únicamente al índice de regulación hidrológica, lo que muestra su independencia y baja influencia respecto a los valores del índice RQI.

**Figura 4.7:** Ordenación de los tramos fluviales de estudio en el plano definido por los ejes 1 y 2 del análisis de componentes principales (PCA)



## Conclusiones

### *La aplicación del índice RQI en la cuenca*

La aplicación del RQI para valorar el estado de las riberas de los ríos de la cuenca Ayuquila-Armería se realizó en un conjunto de tramos de muestreo que representa las diferentes tipologías de ríos reconocidos en la cuenca (de-

sarrollado en el capítulo 2 de este libro), lo que representa una diferencia respecto a otros trabajos realizados recientemente en México, por ejemplo: Rodríguez-Télez *et al.* (2012), Garrido *et al.* (2010, 2011) y Solís (2011). Este estudio es un primer aporte en el tema de la valoración del estado de las riberas en la cuenca del río Ayuquila-Armería, basado en el entendimiento de las dimensiones y el funcionamiento del sistema fluvial, y genera un diagnóstico de los principales problemas que afectan a los principales ríos y sus riberas a nivel de cuenca. Los resultados del índice complementan aquellos obtenidos de los estudios de composición y estructura de la vegetación ribereña y permiten alcanzar un mejor entendimiento de los procesos y dinámica de esta comunidad de vegetación en el conjunto del sistema fluvial.

En general, el índice RQI fue una herramienta de baja complejidad en su aplicación en campo, asumiendo que existe un conocimiento básico de la estructura y funcionamiento dinámico del sistema fluvial. La hoja de campo facilita la sistematización de los datos recogidos y es de mucha utilidad para asignar una puntuación apegada a los criterios descritos para cada atributo, dando a este instrumento mayor robustez. Este estudio es el primer caso de aplicación del índice en México, y podemos concluir que tiene un enorme potencial para la valoración del estado ecológico de las riberas en otras regiones del país. Por esta razón, es necesario considerar los siguientes aspectos para su aplicación: a) el reconocimiento y clasificación de los tipos de ríos a evaluar, b) definir los tramos de referencia del buen estado ecológico de acuerdo con las tipologías identificadas, c) identificar las especies leñosas dominantes e invasoras nativas y no nativas en los ríos de estudio y adecuar el listado de especies invasoras indicado en el RQI. Por ejemplo, en las riberas del río Ayuquila-Armería las especies *Arundo donax* (carrizo gigante) y *Ricinus communis* (ricino o higuera) son las especies leñosas invasoras más comunes y abundantes. De hecho, *Arundo donax* se encuentra en la lista de las especies invasoras no nativas de alto impacto a la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos en México (Villaseñor y Espinosa-García 1998, March y Martínez 2007) y otras regiones del mundo (Bell 1997, Deltoro *et al.* 2012, Bossard, Randall y Hoshovsky 2014).

### ***El estado de las riberas en el río Ayuquila-Armería***

La evaluación de la alteración ecohidrológica de los ríos de México desarrollada por Garrido *et al.* (2010), concluye que el 45 por ciento de las zonas

riparias presentan un nivel alto de impacto como resultado de la alteración hidrológica de los ríos, la urbanización, los cambios de uso del suelo, la extracción de materiales pétreos del lecho y bancos de los ríos, principalmente. Este panorama a escala nacional nos hace pensar que los resultados encontrados en el río Ayuquila-Armería evidencian la trayectoria de deterioro de las riberas en el país, considerando que una alta proporción de tramos fluviales —aproximadamente la mitad— presenta un estado regular (moderado), una cuarta parte ha alcanzado un estado ecológico pobre, y solo la cuarta parte de tramos restantes mantiene un buen estado ecológico. Otras evaluaciones de la calidad de las riberas en regiones del norte del país con climas semiáridos reportan también el deterioro de las riberas, por ejemplo; Rodríguez-Téllez *et al.* (2012) reporta para seis tramos del río El Tunal (Durango) a lo largo de 21 km una fuerte alteración de las riberas en los tramos de estudio, debido al impacto de asentamientos humanos, deforestación, pastoreo, agricultura y extracción de materiales pétreos que se encuentran en el lecho de los ríos. Solís (2011), en un diagnóstico realizado en seis tramos del río Sain Alto (Zacatecas), encontró la mitad de los tramos con buena calidad y el resto en pésima calidad. Aún cuando en ambos estudios se aplicó el índice QBR (Munné *et al.* 1998, 2003) en un número muy limitado de tramos fluviales, son aportes de interés al escaso conocimiento del estado que guardan las riberas en el país.

Para el caso del río Ayuquila-Armería, aun cuando la proporción de tramos fluviales en buen estado de conservación es limitada, estos sitios son muy importantes como *sitios de referencia* de las condiciones estructurales y funcionales que caracterizan el buen estado ecológico de los ríos de la misma tipología en esta cuenca, y son importantes para la implementación de acciones de manejo de zonas ribereñas, ya que representan la condición que puede guiar la mejora de los tramos fluviales de tipologías similares con fuerte deterioro.

No obstante que los tramos en buen estado ecológico corresponden a los tipos de ríos temporales de montaña con cuencas pequeñas y medianas (tipos 12 y 9 respectivamente), no se obtuvo una correlación significativa entre la calidad de las riberas y los tipos de ríos reconocidos en la cuenca. Esto podría indicar la alteración generalizada de una proporción relativamente alta de los ríos en la cuenca. Esta condición de alteración de las riberas es muy similar a los procesos de deforestación y degradación de la cobertura vege-

tal reportados por Jardel *et al.* (2012) en un análisis reciente del cambio de cobertura y uso del suelo en la porción media de la cuenca del río Ayuquila. Este estudio concluye que el desarrollo de la agricultura comercial de riego es la que ha tenido un mayor impacto sobre la vegetación ribereña, la selva baja (bosques tropicales caducifolios) y humedales, transformando las zonas a zonas de cultivo (Jardel *et al.* 2012). Este conjunto de factores determinan las bajas puntuaciones de la mayoría de los atributos del RQI en la cuenca, por lo que encontramos corredores ribereños limitados en su desarrollo y extensión a través de su valle que han perdido su complejidad estructural y reducido las poblaciones de especies ribereñas más sensibles (por ejemplo, *Salix taxifolia* y *Astianthus viminalis*) y se ha favorecido el establecimiento de especies arbustivas invasoras no nativas como *Arundo donax* (carrizo gigante) o nativas como *Ricinus communis* (higuerilla), esta última es dominante en terrenos abandonados (Villaseñor y Espinosa-García 1998, Vibrans 2005).

El buen estado de la conectividad transversal y la vertical que mantienen las riberas de una muy alta proporción de tramos fluviales estudiados (figura 4.5) y que corresponde a tramos de ríos temporales de montaña con cuencas pequeñas y medianas —por ejemplo: Ejutla1-1, Manantlán y SJ Cacoma (figura 4.6)— se puede explicar por el hecho de que si bien existen restricciones físicas, éstas son en su mayoría bordos o defensas de tierra y material del lecho del río acumulado en las orillas para elevarlas, limitando y algunas veces evitando la inundación de las riberas. Estas defensas generalmente no están cubiertas por rocas, concreto, pavimento u otra estructura hidráulica que impida el crecimiento de la vegetación. La regulación hidrológica muestra una baja influencia en los tramos fluviales de estudio, aun con la presencia de tres grandes presas ubicadas en la cabecera de los ríos principales, lo que podría explicarse por el aporte de los tributarios aguas debajo de las presas. Las inundaciones ocurren durante la incidencia de fenómenos hidrometeorológicos que son frecuentes en el Pacífico Mexicano (tormentas tropicales, ciclones y huracanes) y que provocan periodos intensos de lluvia, obligando el desfogue de las presas. Por ejemplo, en el río Armería (parte baja de la cuenca) durante el período de estiaje (marzo-junio), los caudales oscilan alrededor de los 5 m<sup>3</sup>/s, incrementando su volumen en el de lluvias a 30-35 m<sup>3</sup>/s (entre agosto y septiembre), llegando a alcanzar valores máximos de 250-1 000 m<sup>3</sup>/s en temporada de avenidas (septiembre-octubre), generando grandes inundaciones (CFE-GEIC 2009, Trani *et al.* 2013).

Respecto al buen estado que mantiene la conectividad vertical, no significa que no exista algún tipo de perturbación que la afecte y a la permeabilidad del sustrato y conectividad vertical. La extracción de materiales pétreos es una actividad que ocurre en diferentes tramos de los ríos a través de las concesiones otorgadas por la Conagua a particulares, sin embargo, no existen estudios que cuantifiquen la intensidad y efecto de esta actividad sobre la dinámica fluvial en la cuenca, ya que no hay exigencias de presentar estudios de impacto ambiental. En los tramos bajos del río Armería la extracción de materiales pétreos es más intensiva e implementada como una medida de limpieza o desazolve y rectificación de cauces de los cauces después de fenómenos meteorológicos, por ejemplo, el huracán Jova de 2011. En los próximos 15 años, se prevee la extracción de materiales pétreos por empresas particulares en diferentes tramos del río Armería (localidad de Tecomán, Armería y El Puertecito), con volúmenes totales de aprox. 443 000 a 488 000 m<sup>3</sup>/año para cada una de las localidades autorizadas por Conagua (Sinat/Semarnat 2008). La extracción de materiales pétreos del lecho (gravas y arenas principalmente) también la realizan los propios ayuntamientos municipales como una medida del Plan de Contingencia frente a fenómenos hidrometeorológicos (Conagua 2011) que representen un riesgo para la población, pero no existe una estrategia integral de protección y restauración de los corredores ribereños a nivel municipal. Recientemente, en 2014, los diez municipios de la cuenca media del río Ayuquila, que conforman la denominada Junta Intermunicipal del Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila (JIRA), firmaron un convenio con organismos de gobierno en temas de medio ambiente (Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial [Semadet] y del Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] para el ordenamiento territorial municipal, lo que representa un avance en materia de la gestión del territorio.

A diferencia de los atributos de conectividad transversal y vertical de los anteriores, los atributos de la anchura del espacio ribereño, la continuidad longitudinal, la composición y estructura de la vegetación, que son los atributos que definen la morfología de las riberas y las dimensiones espaciales donde tienen lugar las funciones ribereñas, se encuentran moderadamente alterados (figura 4.5), y en algunos casos severamente alterados, manteniendo una ribera en estado pobre y malo. La regeneración natural de la vegetación arbórea y arbustiva es otro atributo fuertemente afectado, evidenciado

un desequilibrio de la vegetación existente con el actual régimen de caudales y un efecto del pastoreo de ganado en el espacio ripario. La ausencia de fuertes inundaciones capaces de transportar semillas, restos vegetales y generar hábitats para su deposición y desarrollo podría ser la causa que limita la regeneración de algunas de las principales especies leñosas (Stromberg *et al.* 1997, Dufour y Piégay 2008), y en algunos casos estar relacionada con el crecimiento desmesurado de vegetación en las formas fluviales más cercanas al cauce, estabilizándolas (Scott *et al.* 1996).

Los resultados de la ordenación de los tramos fluviales en función de los atributos del índice de calidad de las riberas (figura 4.9) indican que una buena condición de las orillas, una buena continuidad longitudinal y el mantenimiento de las dimensiones del espacio ripario sin que existan restricciones en el desarrollo y extensión de la vegetación riparia a través de su valle son determinantes para alcanzar un buen estado ecológico, y que estas condiciones están presentes generalmente en los tramos ubicados a mayores altitudes en la cuenca de estudio. Rodríguez-Téllez *et al.* (2012) encontraron una fuerte alteración de la conectividad entre la vegetación de ribera y bosque natural adyacente, debido a la existencia de áreas agrícolas en las zonas de ribera. El pastoreo de ganado es otra de las actividades humanas que impacta la calidad de las riberas (Kutschker *et al.* 2009), generando pérdida o degradación de la vegetación ribereña (Merritt y Cummins 1996) y afectando su dinámica y funciones ambientales.

En este sentido, los tramos fluviales en buen y muy buen estado ecológico identificados en la cuenca del río Ayuquila-Armería y que en conjunto representan aproximadamente el 27 por ciento de los tramos estudiados, son de enorme interés como elementos de referencia en la restauración de tramos fluviales degradados de similar tipología. Por ejemplo; los tramos de Armería 9-1, Ayuquila 2-1 que corresponden al tipo 7 (tramos permanentes submontanos, de geología sedimentaria, en cuencas grandes y bajas pendientes) pueden guiar la recuperación de los tramos fluviales con pobre calidad de sus riberas (Valle El Grullo, Ayuquila 3-2, Ayuquila4, Armería 1-1, Tuxcacuesco1-2, Armería4 y Armería11-2). Los tramos fluviales Ejutla1-1 (tipología 6), Salatillo-Tigre (tipología 9) y Jiquilpan3 (tipología 12) conservan el mejor estado de las riberas, y por tanto es necesaria su conservación y protección, buscando alternativas de posible aplicación para mantener el estado actual y prevenir alteraciones futuras. Aunque estos tramos fluviales están

en los tramos altos de los ríos y en valles más confinados, tienen la presión de la agricultura y pastoreo de ganado en las laderas de los valles, actividades que generan deforestación y degradación del bosque tropical caducifolio, componente dominante del paisaje en la cuenca (Jardel *et al.* 2012). En este sentido, limitar o restringir el acceso extensivo del ganado a las riberas puede ser una alternativa para proteger estos corredores de vegetación ribereña.

Aun cuando los principales cauces del río Ayuquila-Armería tienen un régimen hidrológico alterado por la presencia de las presas Tacotán y Trigomil en el río Ayuquila, la presa Las Piedras en el río Tuxcacuesco, y las estaciones de derivación en el río Armería, como Peñitas, el índice de regulación hidrológica no mostró tener un rol decisivo en el estado de las riberas, como lo muestra la ordenación de los tramos fluviales (figura 4.7). No obstante, es importante considerar que no se incluyeron las extracciones de agua que los pobladores hacen en diferentes tramos de estudio sin control, pero que resulta difícil cuantificar. El río Armería tiene una enorme presión de demanda de agua para riego agrícola (caña de azúcar, cítricos, aguacate, palma de coco, entre otros) (Cotler y Caire 2009). En el tema de los flujos hidrológicos, en la cuenca del río Ayuquila-Armería, Meza *et al.* (2017) desarrollaron los análisis para determinar el caudal ecológico, lo que representará un aporte importante hacia una gestión más integral del río. En México, recientemente se publicó la Norma Mexicana (Semarnat 2012) que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas y actualmente se están realizando estudios para determinar las metodologías más apropiadas para su determinación (WWF-México Programa Agua 2009).

# Conclusiones finales

Los resultados de este libro aportan conocimiento relevante acerca de la tipología hidromorfológica de la red fluvial de la cuenca del Ayuquila-Armería; la composición, estructura y dinámica de la vegetación leñosa ribereña, así como de aquellos factores hidromorfológicos que influyen en las asociaciones de vegetación ribereñas en el río Ayuquila-Armería y sus principales tributarios. Además, esta investigación aporta una primera valoración del estado ecológico que guardan las riberas fundamentada en atributos de la estructura y el funcionamiento dinámico del río a partir de la exploración de nuevas metodologías con enfoque hidromorfológico, como lo es el índice de calidad de las riberas aplicado. El enfoque aplicado al estudio de la vegetación ribereña y la valoración del estado ecológico tiene como base el reconocimiento de las diferentes tipologías de ríos identificadas en la cuenca, desarrolladas en el segundo capítulo de este libro. A continuación se precisan las principales conclusiones para los diferentes objetivos planteados en la investigación y se discute el aporte de los resultados para la generación de estrategias de conservación, protección y restauración de los corredores ribereños en esta región del occidente de México.

## Tipología de segmentos fluviales del río Ayuquila-Armería

La caracterización y clasificación jerárquica con enfoque hidrológico y geomorfológico de la red fluvial Ayuquila-Armería ha permitido reconocer 13 tipos de ríos (segmentos fluviales) diferentes en la cuenca (capítulo 2). Las variables que resultaron determinantes en la clasificación tipológica de los ríos son el régimen hidrológico, la altitud promedio, la geología y el tamaño de la cuenca vertiente. De esa forma es posible diferenciar ocho tipos de ríos con régimen permanente y cinco tipos con régimen temporal, y que se pueden di-



ferenciar en la zona alta, media y baja de la cuenca. En las zonas de montaña, ubicadas principalmente en la cabecera de la cuenca en altitudes promedio superiores a 1 500 m, se encuentran segmentos fluviales que corresponden a tipos de ríos con cuencas vertientes pequeñas a medianas y pendientes más elevadas (por ejemplo, tipo 1 y tipo 2), que a medida que van descendiendo tienen pendientes más moderadas (por ejemplo tipo 3 y tipo 5). En la porción media de la cuenca, en regiones submontañosas se ubican los ríos temporales, con pendientes más bajas en cuencas medianas a grandes y geologías predominantemente sedimentarias (por ejemplo, los tipos 6 y 7). En la zona de transición hacia la porción más baja de la cuenca se ubican los tramos del río Armería que presentan las pendientes más bajas, cuencas grandes y geologías predominantemente sedimentarias, así como algunos tributarios importantes.

Esta definición de mayor detalle de las características de los segmentos fluviales del río Ayuquila-Armería ha sido la base para el estudio de la vegetación y la valoración del estado de las riberas incluidas en este libro. Esta diferenciación de tipologías es de gran utilidad para establecer las condiciones de referencia de cada tramo, así como para evaluar mejor el efecto de las distintas presiones e impactos que son diferentes según su clasificación. Así también, la tipología desarrollada en este trabajo supone una aportación metodológica para la caracterización y organización jerárquica de los ríos aplicables a otras regiones del país.

## **Vegetación ribereña en el río Ayuquila-Armería: factores que determinan las asociaciones florísticas**

Los resultados de este estudio muestran que la vegetación ribereña de los ríos Ayuquila-Armería y principales afluentes tributarios alberga una alta riqueza y diversidad de especies leñosas nativas, que conforman asociaciones de especies muy heterogéneas entre sí. No obstante, las especies leñosas estructurales y fisonómicas dominantes de estas asociaciones ribereñas son *Salix humboldtiana*, *Salix bonplandiana*, *Salix taxifolia*, *Astianthus viminalis*, *Ficus insipida*, *Pithecellobium dulce* y *Guazuma ulmifolia*, a las que se asocian otras especies leñosas no riparias estrictas y que son elementos característicos de las comunidades de vegetación adyacente, principalmente del bosque

tropical caducifolio y subcaducifolio predominantes en la cuenca de estudio, entre las que se encuentran *Enterolobium cyclocarpum*, *Lysiloma acapulcense* y *Stemmadenia tomentosa*. Estas comunidades de vegetación son hábitat de tres especies arbóreas cuyas poblaciones están en peligro de extinción o amenazadas (*Sideroxylon cartilagineum*, *Guaiacum coulteri* y *Sideroxylon capiri subsp. tempisque*). En este sentido, hace falta llevar a cabo una investigación ecológica aplicable a la conservación de las poblaciones y el hábitat de estas especies que tienen un estatus de riesgo para su conservación, y de otras especies ribereñas sensibles a las alteraciones hidrológicas y morfológicas del ecosistema fluvial debido a las actividades antrópicas presentes, como es el caso de *Astianthus viminalis* y *Salix taxifolia*. Así mismo, es de interés resaltar la dominancia que están adquiriendo dos especies de comportamiento invasor —*Ricinus communis* y *Arundo donax*— en las riberas, cuyo impacto a la regeneración de especies ribereñas ha sido ampliamente documentado en diversas regiones del mundo.

Por otra parte, se puede concluir que las variables ambientales de régimen hidrológico, pendiente, altitud y, en menor medida, el tipo de sustrato influyen directamente en la estructura de la comunidad y determinan la asociación de especies conformando grupos florísticos. Así, la dominancia de especies en las comunidades puede ser explicada por sus respuestas individuales a estos factores, además de los efectos de la presencia de otras especies.

En conclusión, este estudio aporta una base de conocimiento acerca de la composición y estructura de la vegetación ribereña del río Ayuquila-Armería y sus principales tributarios, y de algunos de los factores ambientales que determinan las asociaciones florísticas actualmente dominantes. No obstante, es necesario aumentar el conocimiento de los atributos ecológicos de las especies que configuran los corredores ribereños en la cuenca e identificar gremios funcionales para entender los mecanismos y estrategias que caracterizan al conjunto de especies asociadas para adaptarse a las condiciones hidrológicas y morfológicas de los segmentos fluviales.

## Estado de integridad ecológica de las riberas

Cerca de la mitad de los tramos fluviales de la cuenca Ayuquila-Armería presenta un estado ecológico regular (moderado), una cuarta parte conserva un

buen estado ecológico (con escasos tramos fluviales en muy buen estado) y el resto presenta un estado pobre con mayor alteración en sus indicadores de estructura y funcionamiento. En este sentido, son la conectividad transversal, la conectividad vertical y la condición de las orillas los atributos mejor conservados en una alta proporción de los tramos fluviales analizados. En contraste, la regeneración natural, importante indicador del funcionamiento de las riberas, y el resto de los atributos que permiten valorar su estructura (anchura del espacio ripario, continuidad longitudinal, composición y estructura de la vegetación) se encuentran muy alterados.

No se obtuvo una correlación significativa entre la calidad de las riberas y los tipos de ríos reconocidos en la cuenca; esto podría indicar la alteración generalizada de una proporción relativamente alta de los ríos, sin embargo, es posible observar en los resultados que los tramos con buen estado ecológico corresponden a los tipos de ríos temporales de montaña con cuencas pequeñas y medianas (tipos 12 y 9, respectivamente).

Los tramos fluviales mejor conservados, que presentan un estado muy bueno y bueno en sus riberas son El Salatillo\_Tigre, Ejutla1-1 y Jiquilpan3, Cerro Blanco1, El Remate, Ferrería1, San Juan Cacoma y Manantlán. Son tramos fluviales cuyos valles se encuentran confinados, lo que de forma natural limita el espacio ripario potencialmente disponible para ser usado para actividades agrícolas o asentamientos humanos (aunque no limita el pastoreo de ganado), o territorios relativamente aislados con baja población humana, aspectos que han favorecido su protección. Para el conjunto de estos tramos fluviales es necesario aplicar medidas de protección para eliminar las presiones e impactos actuales y prevenir nuevos impactos que pongan en riesgo la integridad de las funciones riparias. Estos tramos son muy importantes como *condiciones de referencia* que pueden guiar la restauración de otros con mayor alteración en la cuenca y que correspondan a tipologías similares.

# Alternativas de conservación, manejo y restauración de los ecosistemas ribereños en la cuenca del río Ayuquila-Armería

La restauración ecológica es definida como una actividad intencional que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sustentabilidad cuando ha sido degradado, alterado, transformado o destruido como resultado directo o indirecto de las actividades humanas (SER 2002). En este sentido, el conjunto de actividades para la restauración de los ecosistemas fluviales va encaminado a devolver al río su estructura y funcionamiento como ecosistema, de acuerdo con unos procesos y una dinámica equivalentes a las condiciones naturales, o que se establece como condición de referencia del buen estado ecológico (González del Tánago y García de Jalón 2007). El buen estado ecológico se define mediante el análisis de una serie de indicadores de la estructura y funcionamiento de las riberas; continuidad longitudinal, conectividad transversal, composición y estructura de la vegetación ribereña, regeneración natural, entre otros, que han sido analizados en el capítulo 4 de este libro. Este tipo de indicadores pueden ser cuantificados y comparados con información sobre el estado del ecosistema anterior a su degradación, teniendo en cuenta datos históricos, pero sobre todo, la comparación puede hacerse con otro sistema fluvial natural próximo en buen estado ecológico que sirva como referencia (González del Tánago y García de Jalón 2007).

En conclusión, la restauración de la ribera plantea la recuperación de un estado óptimo que debe corresponder a mayores dimensiones espaciales de la llanura de inundación, según el tipo de valle y de cauce, la vegetación riparia en contacto con la vegetación del entorno de ladera, con una composición y estructura en equilibrio dinámico con las condiciones hidromorfológicas, la máxima conectividad transversal y vertical con el cauce principal, es decir, todos sus componentes y flujos en toda su complejidad y diversidad, la resiliencia frente a futuros impactos y los bienes y servicios que aporta a la sociedad (Naiman *et al.* 2005, Meli 2014).

En el caso de los ecosistemas ribereños en México, se ha planteado la necesidad de su conservación y restauración en las cuencas del país (Cotler y Caire 2009, Garrido *et al.* 2010, Meli 2014), debido al grado de alteración que presentan estos ecosistemas (Garrido *et al.* 2010) y la ausencia de una estrategia nacional. No obstante que, la *Agenda del Agua 2030* para México propone en uno de sus cuatro ejes estratégicos denominado Ríos Limpios, conservar y rehabilitar los sistemas ribereños es una acción que no se iniciará antes del 2030 (Conagua 2012). Bajo este escenario, es necesario impulsar iniciativas y proyectos en pro de la conservación y restauración desde el ámbito regional.

La conservación no puede por sí sola asegurar el mantenimiento de la biodiversidad y la disponibilidad de recursos naturales frente a la demanda social creciente (Jardel 2008). Por tanto, la restauración juega un papel importante en la recuperación de ecosistemas degradados (SER 2002), junto con la mejora de las prácticas de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. La restauración ecológica de los ecosistemas ribereños, biodiversidad y servicios ecosistémicos en el río Ayuquila-Armería debería formar parte de un programa de manejo de este ecosistema, integrando la conservación, el manejo sostenible y la restauración ecológica, como ha sido también planteado por Meli (2014). De esta manera, una buena estrategia de restauración, como lo plantean González del Tánago y García de Jalón (2007), debería incluir la *conservación* de los tramos fluviales que presentan buen estado ecológico, con escasa o nula alteración por actividades humanas para mantener su estado actual de conservación y prevenir o reducir las presiones e impactos que ponen en riesgo la integridad ecológica del ecosistema ripario. En segundo término, está la *protección* de aquellos tramos que todavía presentan buenas condiciones, pero están amenazados o en riesgo ante determinadas presiones e impactos, y en donde con pequeñas inversiones es posible recuperar el buen estado ecológico, eliminando las presiones e impactos. Finalmente, actuaciones de *restauración* o *rehabilitación* de aquellos tramos fluviales en los cuales sus atributos estructurales y funcionales se encuentran alterados. Estas acciones de restauración deberán enfocarse en reducir las presiones e impactos en la mayor medida posible y mejorar las funciones riparias hidrológicas y ecológicas.

En este sentido, los resultados de la calidad de las riberas obtenidos en esta investigación son de mucha utilidad para diseñar una estrategia restau-

ración del río Ayuquila-Armería, integrando las experiencias piloto de recuperación de la cobertura arbórea ribereña que se han implementado en las zonas más afectadas del valle agrícola de Autlán y El Grullo (Ortiz-Arrona *et al.* 2004, 2008, 2018). En esta iniciativa de recuperación se utiliza una selección de especies leñosas nativas de usos múltiples identificadas a partir de aspectos ecológicos (por ejemplo, valor de importancia en la estructura de la comunidad, estado de conservación de la especie) e importancia social de las especies (por ejemplo, usos forestales maderables y no maderables), entre las que se encuentran *Enterolobium cyclocarpum*, *Tabebuia rosae*, *Tabebuia donnell-smithii*, *Guazuma ulmifolia*, *Pithecellobium dulce*, *Ficus cotinifolia*, *Leucaena leucocephala* y *Salix humboldtiana* (Ortiz-Arrona *et al.* 2004, Rodríguez 2006, Ortiz-Arrona *et al.* 2008, Allen *et al.* 2010). Este enfoque «productivo» de la rehabilitación de la vegetación ribereña (Cecon 2013) con el uso de especies multipropósito ha favorecido la aceptación de las actuaciones de recuperación de los corredores ribereños por parte de los usuarios de las riberas (Ortiz-Arrona *et al.* 2008). Un grupo importante de estas especies se encuentra entre las 33 con los valores de importancia más altos de la comunidad de leñosas en las riberas del río Ayuquila-Armería identificadas en este estudio (tabla 3.4, capítulo 3). Este conjunto de especies debe ser considerado como clave para la restauración de las riberas en la zona de estudio. Aunque existen trabajos importantes para la propagación de especies ribereñas de las selvas tropicales húmedas (Meli y Carrasco-Carballido 2011), es crucial dirigir esfuerzos de investigación y experimentación acerca de los requerimientos para la regeneración natural y/o propagación asistida, establecimiento y crecimiento de especies leñosas arbóreas y arbustivas ribereñas de tipo tropical caducifolio y subcaducifolio que caracterizan a esta región, incluyendo aquellas que se encuentran bajo algún estatus de conservación. Así también, el ensamblaje de especies debe tomar en cuenta la asociación de las identificadas en los tramos fluviales con buen estado ecológico (condición de referencia) de acuerdo con su tipología.

Ahora bien, en el diseño de un programa de restauración de las riberas es necesario considerar los siguientes aspectos técnicos y sociales (González del Tánago y García de Jalón 2007):

- a. La priorización de las acciones de restauración y selección de los tramos del río a restaurar, en donde confluyan un interés de la población local y un acuerdo entre las administraciones y otros actores implicados.
- b. La valoración general de las características de los tramos a restaurar y definición de los objetivos de la intervención a partir de un proceso participativo que permita conocer las expectativas de la población respecto a la zona a tratar, su percepción de los problemas más actuales, que ayude en la toma de decisiones con propuestas más razonables, teniendo en cuenta lo que la gente quiere que se haga.
- c. El diagnóstico de la problemática que afecta al tramo fluvial seleccionado, realizado por un grupo multidisciplinario.
- d. La valoración de su estado y funcionamiento actual (en relación con la condición de referencia).
- e. La definición de la imagen objetivo del proyecto, esto es, lo que se quiere lograr con las actuaciones propuestas en cuanto a la forma y dinámica del río y la estructura biológica del tramo fluvial, según su problemática y lo que los diferentes actores implicados quieren que se haga en cada caso.

En adición, la restauración debería partir de un enfoque de manejo adaptativo, esto es; dada la complejidad y la naturaleza dinámica de los ecosistemas, las condiciones cambiantes y las limitaciones de conocimiento en algunas regiones, la restauración debe considerarse un proceso de experimentación y aprendizaje, basado en el enfoque del manejo adaptativo (Walters y Holling 1990), en donde el aprendizaje generado con la experiencia práctica, la investigación, el monitoreo y la evaluación conduce a plantear cambios en las prácticas de manejo.

En conclusión, la planificación de la conservación y restauración ecológica de los ecosistemas ribereños requiere de una base científica para fundamentar decisiones de manejo. En este sentido, y a partir de los resultados que se presentan en este libro, es posible plantear las siguientes líneas de trabajo de investigación-acción que permitirán aportar un mejor entendimiento de los procesos socioecológicos de estos ecosistemas en la cuenca del río Ayuquila-Armería:

- Programa de monitoreo de la integridad ecológica de los corredores de vegetación ribereña en la cuenca a mediano y largo plazo.

- Ampliar el número de tramos fluviales de estudio de la composición, estructura y dinámica de la vegetación ribereña y la valoración del estado de integridad ecológica de las riberas en la cuenca.
- Ecología y dinámica de las especies leñosas ribereñas clave en los corredores ribereños y su respuesta frente a las principales presiones antrópicas en la cuenca. Incluyendo especies bajo protección especial de las normas oficiales mexicanas e internacionales y sensibles a las alteraciones hidrológicas y morfológicas del sistema fluvial. Por ejemplo: *Sideroxylon cartilagineum*, *Guaiacum coulteri* y *Sideroxylon capiri subsp. tempisque*, *Asiathus viminalis* y *Salix taxifolia*.
- Investigación y experimentación de la propagación y establecimiento en campo de especies leñosas ribereñas para la restauración de la cobertura de vegetación ribereña.
- Difusión de la importancia de los ecosistemas ribereños para la conservación de biodiversidad y proveedor de servicios ecosistémicos, con el fin de alcanzar una revalorización de este ecosistema por la sociedad y motivar su participación en la definición de acciones para la conservación y restauración de estos amenazados ecosistemas.

Aunada a estos temas, la reciente integración del *Plan de Acción para la Gestión Integral en la Cuenca del Río Ayuquila-Armería 2019-2021* (Román-Guzmán, *et al.* 2018) incluye un eje temático correspondiente al manejo integral del territorio, en el cual se reconoce la importancia de atender el problema del impacto antrópico de las zonas ribereñas ocasionado principalmente por la apropiación ilegal de las zonas federales de los ríos y arroyos en la cuenca. En el plan se proponen las siguientes acciones (Román-Guzmán *et al.* 2018):

- Definir las áreas prioritarias para la conservación de zonas ribereñas en el río Ayuquila-Armería y gestionar la delimitación de la zona federal.
- Definir e implementar los mecanismos apropiados para informar y concientizar a los usuarios de las riberas, población en general y actores institucionales sobre la importancia de las zonas ribereñas.
- Promover y gestionar ante la Conagua, que otorgue a los Ayuntamientos de la cuenca las atribuciones y capacidades para el manejo de la zona fe-



deral en áreas de riesgo y zonas prioritarias para su conservación, manejo y acciones de vigilancia.

- Desarrollar protocolos para el manejo de las zonas ribereñas prioritarias y procesos de capacitación para atenderlos apropiadamente en apoyo a los Ayuntamientos y demás autoridades competentes.
- Proponer modificación a la ley federal de derechos con el fin de fomentar en los usuarios de las riberas y ciudadanos en general la conservación de las zonas ribereñas.

A pesar de que para algunas de estas líneas de trabajo de investigación-acción se tiene un conocimiento base para avanzar hacia su implementación, el desafío está en lograr la participación y colaboración conjunta de diversos actores del gobierno y sociedad en la cuenca.

# Literatura citada

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M. y Prat, N. (2009). «Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú». *Limnetica* 28(1), 35-64.
- Allen, A. E., Santana-Michel, F. J., Ortiz, C. y Zedler, J. (2010). «Integrating ecological and ethnobotanical priorities into riparian restoration». *Ecological Restoration*, 28(3), 377-388.
- Ayala, M. M. y Solano, E. (2011). «Salicácea». *Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Fasc. 87. Instituto de Biología-UNAM.
- Balestrini, R., Cazzola, M. y Buffagni, A. (2004). «Characterising hydromorphological features of selected Italian rivers: A comparative application of environmental indices». *Hydrobiologia*, 516(1-3), 365-379.
- Bandas (Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales) (2013). Ciudad de México: Conagua. Recuperado el 22 de marzo de 2019 de <<http://www.Conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm>>.
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Zinder, B. D. y Stribling, J. B. (1999). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish*. Washington D. C.: EPA, Office of Water.
- Barquín, J., Fernández, D., Alvarez-Cabria, M. y Peñas F. (2011). «Riparian quality and habitat heterogeneity assessment in Cantabrian rivers». *Limnetica*, 30(2), 329-346.
- Bejarano, M. D., González del Tánago, M., García de Jalón, D. Marchamalo, M., Sordo-Ward, A. y Solana-Gutiérrez, J. (2011). «Responses of riparian guilds to flow alterations in Mediterranean stream». *Journal of Vegetation Science*, 21, 1172-1178.
- Bell, G. P. (1997). «Ecology and management of *Arundo donax*, and approaches to riparian habitat restoration in southern California». En J. Brock,

- H., M. Wade, P. Pysek, D. Green (Edits). *Plant invasions: studies from North America and Europe*. Leiden: Backhuys Publishers.
- Belmar, O., Bruno, D., Martínez-Capel, F., Barquin, J. y Velasco (2013). «Effects of flow regime alteration on fluvial habitats and riparian quality in a semiarid Mediterranean basin». *Ecological Indicators*, 30, 52-64.
- Benda, L., Poff, N. L., Miller, D., Dunne, T., Reeves, G., Pess G. y Pollock, M. (2004). «The network dynamics hypothesis: how channel networks structure riverine habitats». *BioScience* 54, 413-427.
- Bendix, J., Hupp, C.R. (2000). «Hydrological and geomorphological impacts on riparian plant communities». *Hydrological Processes*, 14, 2977-2990.
- Bendix, J. (1999). «Stream power influence on Southern California riparian forest». *Journal of Vegetation Science*, 10, 243-252.
- Bjorkland, R., Pringle, C. M. y Newton, B. (2001). «A stream visual assessment protocol (SVAP) for riparian landowners». *Environmental Monitoring and Assessment*, 68(2), 99-125.
- Boon, P. J., Wilkinson, J. y Martin J. (1998). «The application of SERCON (System for Evaluating Rivers for Conservation) to a selection of rivers in Britain». *Aquatic Conservation, Marine and Freshwater Ecosystems*, 8, 597-616.
- Bozzetti, M. y Schulz, U. H. (2004). «In index of biotic integrity based on fish assemblages for subtropical streams in southern Brazil». *Hydrobiologia* 529(1): 133-144.
- Breiman, L., Friedman, J., Olshen, R. y Stone, C. (1984). *Classification and regression trees*. Belmont: Wadsworth International Group.
- Brierley, G. J. y Fryirs, K. A. (2005). *Geomorphology and River Management. Applications of the River Styles Framework*. Oxford: Blackwell Publication.
- Brierley G., K. Fryirs, D. Outhet y C. Massey (2002). «Application of the river styles framework as a basis for river management in New South Wales». *Applied Geography*, 22, 91-122.
- Bossard, C. C., Randall, J. M., Hoshovsky, M. C. (2014). *Invasive plants of California's Wildland*. California: Californian Invasive Plant Council). Recuperado de <[http://www.cal-ipc.org/ip/management/plant\\_profiles/Arundo\\_donax.php](http://www.cal-ipc.org/ip/management/plant_profiles/Arundo_donax.php)>.
- Calle, D. Z., Giraldo, L. P., Chará, J. y Murgueitio, E. (2013). «Recupere los corredores ribereños de su finca». *Carta Fedegán*, (138) 80-88.

- Camacho-Rico, F., Trejo, I. y Bonfil, C. (2006). «Estructura y composición de la vegetación ribereña de la barranca del río Temembe, Morelos», *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (78) 17-31.
- Ceccon, E. (2013). *Restauración de bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Ediciones Díaz de Santos.
- Cenma (Centro Nacional del Medio Ambiente) (2010). *Propuesta de utilización de biocriterios para la implementación y monitoreo de la norma secundaria de calidad ambiental. Criterios y metodologías. Informe Final*. Recuperado el 22 de marzo de 2019 de <<http://documentos.dga.cl/CQA5230v1.pdf>>.
- Cervantes, C., Campos-García, J., Devars, S., Gutierrez-Corona, F., Loza-Tavera, H., Torres-Guzmán J. C. y Moreno-Sánchez, R. (2001). «Interactions of chromium with microorganisms and plants». *FEMS Microbiology Reviews*, 25(3) 335-347.
- Cervantes, V., Carabias, J., y Arriaga, V. (2008). «Evolución de las políticas públicas de restauración ambiental». *Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad*, III. Ciudad de México: Conabio.
- CFE-GEIC (Comisión Federal de Electricidad-Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil) (2009). *Estudios para dar respuesta a las condicionantes emitidas por la DGIRA en el resolutivo de impacto ambiental para el proyecto de la terminal de gas natural licuado en Manzanillo*. Colima, México.
- Chaney, E., Elmore, W. y Platts, W. S. (1990). *Livestock grazing on western riparian areas*. Washington, D. C.: U. S. Environmental Protection Agency.
- Chazdon, R. L. (2008). «Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands». *Science*, 320, 1458-1460.
- Conabio (Comisión para la Conservación y Aprovechamiento de la Biodiversidad) (1999). *Regiones hidrológicas*. Recuperado de <[http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalización/doctors/rhp\\_025.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalización/doctors/rhp_025.html)>.
- Conagua (Comisión Nacional del Agua) (2011). *Agenda del Agua 2030*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Conagua (Comisión Nacional del Agua) (2011). *Manual para el control de inundaciones*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

- Conagua (Comisión Nacional del Agua) (2012). *Programa hídrico regional vision 2030. Región Hidrológico-Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico*. Ciudad de México: Conagua.
- Cooper, D. J., Andersen D. C. y Chimner R. A. (2003). «Multiple pathways for woody plant establishment on floodplains at local to regional scales». *Journal of Ecology*, 91(2), 182-196.
- Cooper, D. J., Merritt, D. M., Andersen, D. C. y Chimner, R. A. (1999). «Factors controlling the establishment of Fremont cottonwood seedlings on the Upper Green River, USA Regulated Rivers». *Research and Management*, 15(5), 419-440.
- Corenblit, D., A.M. Gurnell, J. Steiger y E. Tabacchi (2008). «Reciprocal adjustments between landforms and living organisms: extended geomorphic evolutionary insights». *Catena*, 73(3), 261-273.
- Corenblit, D., E. Tabacchi, J. Steiger y A.M. Gurnell (2007). «Reciprocal interactions and adjustments between fluvial landforms and vegetation dynamics in river corridors: A review of complementary approaches». *Earth-Science Reviews* 84(1-2), 56-86.
- Cotler, H. (Compiladora) (2007). *El manejo integral de cuencas en México*. Ciudad de México: Semarnat.
- Cotler, H. y G. Caire (2009). *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México*. Ciudad de México: INE-SEMARNAT.
- Couceiro, S. R. M., Hamada, N., Forsberg, B. R., Pimentel T. P. y Luz S. L. B. (2012). «A macroinvertebrate multimetric index to evaluate the biological condition of streams in the central Amazon region of Brazil». *Ecological Indicators*, 18(1), 118-125.
- Cruz, B. (2007). *Estimación poblacional y uso de hábitat de la familia Alcedinidae (martín pescador) del río Ayuquila, Jalisco*. [Tesis de ingeniería en Recursos Naturales y Agropecuarios]. Autlán de Navarro: Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara.
- Deltoro, T. V., Ruiz, J. J. y Vilán, X. M. (2012). Bases para el manejo y control de *Arundo donax* L. (caña común). Valencia: Generalitat Valenciana.
- Doppelt B., M. Scurlock, C. Frissell y J. Karr (1993). *Entering the watershed: a new approach to save America's river ecosystems*. Washington D. C: Island Press.

- Duckworth, J. C., Kent, M. y Ramsay, P. M. (2000). «Plant functional types: An alternative to taxonomic plant community description in biogeography?». *Progress in Physical Geography*, 24(4), 515-542.
- Dufour, S. y Piégay, H. (2008). «Geomorphological controls of *Fraxinus excelsior* growth and regeneration in floodplain forests». *Ecological Society of America* 89(1), 205-215.
- Dufour, S. y Piégay, H. (2009). «From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: forget natural references and focus on human benefits». *River Research and Applications*. DOI <10. 1002/rra.1239>.
- Durán-Ramírez, C. A., Fonseca-Juárez, R. M. y Ibarra-Manríquez, G. (2010). «Estudio florístico de *Ficus* (Moraceae) en el estado de Guerrero, México». *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81(2), 239-262.
- European Commission (2000). «Directive 2000/60/ EC of the European Parliament and of the Council of October the 23rd establishing a framework for Community action in the field of water policy». *Official Journal of the European Communities* L327, 43.
- Fernández, D., Barquín, J., Alvarez-Cabria, M. y Peñas, F. J. (2014). «Land-use coverage as an indicator of riparian quality». *Ecological Indicators*, 41, 165-174.
- Fernández, L., Rau, J. y Arriagada, A. (2009). «Calidad de la vegetación ribereña del río Maullín utilizando el índice QBR». *Gayana Botánica* 66(2): 269-278.
- Ferreira, M. T., Albuquerque, A., Aguiar, F. C. y Sidorkewicz, N. (2002). «Assessing reference sites and ecological quality of river plant assemblages from an Iberian basin using a multivariate approach». *Archiv für Hydrobiologie*, 159(1) 121-145.
- Flores, J. S. (2001). *Leguminosae. Florística, Etnobotánica y Ecología*. Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Flores-Villela, O. y Gerez, P. (1994). *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo*. Ciudad de México: Conabio-UNAM.
- Frissel, G. A., Liss, W. J., Warren, C. E. y Hurley (1986). «A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context». *Environmental Management*, 10(2), 199-214.

- Frissell, C. y Bayles, D. (1996). «Ecosystem management and the conservation of aquatic biodiversity and ecological integrity». *Journal of the American Water Resources Association*, 32(2), 229-240.
- Fryirs, K. A. y Brierley, G. J. (2013). *Geomorphic Analysis of River Systems. An Approach to Reading the Landscape*. Nueva Jersey: Wiley-Blackwell.
- García de Jalón, D., González del Tánago, M., Marchamalo, M., Alonso, C., Baeza, D., y Vizcaíno, P. (2006). *Caracterización jerárquica y clasificación de los ríos de Navarra*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Fundación Conde del Valle de Salazar.
- Garrido, P. A., Cuevas, M. L., Cotler, H., Enriquez, C., Ballesté, A., Domínguez, A. y Luna, N. (2011). *Propuesta metodológica para la caracterización y diagnóstico ambiental de los sistemas riparios bajo una aproximación multiescalar*. Investigación presentada en el Simposio Nacional sobre Restauración de Ríos y Riberas del Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. Recuperado de <<http://148.202.114.23/derns/wp-content/uploads/2011/07/Aproximacion-multiescalar-Arturo-Garrido.pdf>>.
- 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.
- Geerling G.W., Ragas, A. M. J., Leuven, R. S. E. W., Van der Berg, J. H., Breedveld, M., Liefhebber D. y Smits A. J. M. (2006). «Succession and rejuvenation in floodplain along the river Allier (France)». *Hydrobiologia*, 565(1), 71-86.
- Gerritsen, P., A. Lomelí J. y C. Ortiz A. (2005). «Urbanización y problemática socioambiental en la Costa Sur de Jalisco, México: una aproximación». *Región y Sociedad*, 17(33), 107-132.
- Getzner, M. (2001). «Investigating public decisions about protecting wetlands». *Journal of Environmental Management*, 64(3), 237-246.
- Gibson, G. R., Barbour, M. T., Stribling, J. B., Gerritsen J. y Karr J. R. (1996). *Biological Criteria: Technical Guidance for Streams and Small Rivers*. Seattle: University of Washington.
- Gómez-Pompa, A. (1966). *Estudios botánicos en la Región de Misantla, Veracruz, México*. Ciudad de México: Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables.

- González D. I., Garrido, A., Enriquez, C., Gesundheit, P., Cuevas, M. L. y Cotler, H. (2012). *Caracterización de valles fluviales con fines de recuperación de sistemas riparios en las subcuencas del sistema Cutzamala*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. Recuperado de <[www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2012\\_riparios\\_cutzamala.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2012_riparios_cutzamala.pdf)>.
- González del Tánago, M. y García de Jalón, D. (2006a). «Attributes for assessing the environmental quality of riparian zones». *Limnetica* 25(1-2), 389-402.
- González del Tánago, M. y García de Jalón, D. (2006b). «Propuesta de caracterización jerárquica de los ríos españoles para su clasificación según la Directiva Marco del Agua». *Limnetica* 25(3), 693-712.
- González del Tánago, M. y García de Jalón, D. (2007). *Restauración de ríos y riberas. Guía metodológica para la elaboración de proyectos*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- González del Tánago, M. y D. García de Jalón (2011). «Riparian Quality Index (RQI): A methodology for characterising and assessing the environmental conditions of riparian zones». *Limnetica*, 30(2), 235-254.
- González del Tánago, M., García de Jalón, D., Lara, F. y Garilleti, R. (2006). «Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la directiva marco del agua». *Ingeniería Civil*, (143), 97-108.
- Gregory, S. V., Swanson F. J. y McKee W. A. (1991). «An ecosystem perspective of riparian zones». *BioScience*, 40(8), 540-551.
- Gregory, S. V., Meleason, M. A. y Sobota, D. J. (2003). «Modeling the dynamics of wood in streams and rivers». En S. V. Gregory, K.L. Boyer, y A. M. Gurnell (Edits.), *The ecology and management of wood in world rivers*. Simposio 37 de la American Fisheries Society. Bethesda, Maryland.
- Gurnell, A. M. y Petts, G. E. (2002). «Island-dominated landscapes of large floodplain rivers, an European perspective». *Freshwater Biology*, 47(4), 581-600.
- Gurnell, A. M., Boitsidis, A. J., Thompson, K. y Clifford, N. J. (2006). «Seed bank, seed dispersal and vegetation cover: colonization along a newly-created river channel». *Journal of Vegetation Science*, 17(5), 665-674.
- Gurnell, A. M., Bussettini, M., Camenen, B., González del Tánago, M., Grabowski, R. C., Hendriks, D., Henshaw, A., Latapie, A., Rinaldi M. y Surian N. (2014). «A hierarchical multiscale framework and indicators of



- hydromorphological processes and forms». Reform (Restoring Rivers for Effective Catchment Management).
- Haase, R. y U. Nolte (2008). «The invertebrate species index (ISI) for streams in southeast Queensland, Australia». *Ecological Indicators*, 8(5), 599-613.
- Harvey, G. L., Clifford, N. J. y Gurnell, A. M. (2008). «Towards an ecologically meaningful classification of the flow biotope for river inventory, rehabilitation, design and appraisal purposes». *Journal of Environmental Management*, 88(4), 638-650.
- Hawkes, H. A. (1975). *River zonation and classification*. En B. A. Whitton (Ed.), *River Ecology*. London: Blackwell.
- Hildrew, A. G. y Giller, P. S. (1994). «Patchiness, species interactions and disturbance in the stream benthos». En P. S. Giller, A. G. Hildrew y D. G. Raffaelli (Edits.), *Aquatic Ecology: Scale, Pattern and Process*. London: Blackwell Science.
- Holmes, N. T. H. (1989). «British rivers: A working classification». *British Wildlife*, 1, 20-36.
- Horn, R. P. y J. S. Richards (2006). «Flow-vegetation interactions in restored floodplain environments». En P. Wood, D. M. Hannah y J. P. Sadler (Edits.), *Hydroecology and Ecohydrology Past, Present and Future*. Chichester: John Wiley and Sons.
- Hughes, F. M. R. (1997). «Floodplain biogeomorphology». *Progress in Physical Geography*, 21(4), 501-529.
- Hutchings, M. J. y H. de Kroon (1994) «Foraging in plants: The role of morphological plasticity in resource acquisition». *Advances in Ecological Research*, 25, 159-238.
- Hynes, H. B. N. (1975). «The stream and its valley». *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische and Angewandte Limnologie*, 19(1), 1-15.
- Ibarra L., B. A. y L.I. Iñiguez D. (2011). *Dieta de la nutria en la cuenca baja del río Ayuquila*. Simposio Nacional sobre Restauración de Ríos y Riberas del Centro Universitario de la Costa Sur de la Universidad de Guadalajara. Recuperado de <<http://148.202.114.23/derns/wp-content/uploads/2011/07/Dieta-nutria-Belinda-Ibarra.pdf>>.
- Inegi (2009). «Provincia fisiográfica». Inegi. Recuperado de <<https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/fisiografia/>>.

- Jansen, A., Robertson, A., Thompson, L. y Wilson, A. (2004). «Development and application of a method for the rapid appraisal of riparian condition». *River and Riparian Land Management Technical Guideline*, 4. Canberra: Land y Water.
- Jardel P. E. J. (2008). «Sucesión ecológica y restauración de bosques subtropicales de montaña en la Estación Científica Las Joyas, México». En M. González-Espinosa, J. M. Benayas y N. Ramírez Marcial (Edits.). *Restauración de bosques en América Latina. Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas*. Madrid: FIRE/Mundi-Prensa.
- Jardel, E., Skutsch, M., Martínez, R., Morfín, I., Allende, T., Vega, E., Morales L. y Ghilardi, A. (2012). *Análisis de cambio de cobertura y uso del suelo, escenario de referencia de carbono y diseño preliminar del mecanismo de monitoreo, reporte y verificación en los diez municipios de la Junta Intermunicipal del Río Ayuquila, Jalisco*. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental/ Universidad Autónoma de México/ Centro Universitario de la Costa Sur (CUCSUR)-Universidad de Guadalajara. Informe Final, 12 pp.
- Jones, E. B. D., Helfman, G. S., Harper, J. O. y Bolstad, P. V. (1999). «Effects of riparian forest removal on fish assemblages in Southern Appalachian streams». *Conservation Biology* 13(6), 1454-1465.
- Junk, W. J., Bayley, P. B. y Sparks, R. E. (1989). «The flood-pulse concept in river-floodplain systems». *Canadian Special Publication Fisheries Aquatic Science*, 106, 110-127.
- Kamp, U., Binder, W. y Hölzl, K. (2007). «River habitat monitoring and assessment in Germany». *Environmental Monitoring and Assessment* 127(1): 209-226.
- Karr, J. R. (2006). «Seven foundations of Biological Monitoring and Assessment». *Biologia Ambientale* 20(2), 7-18.
- Kondolf, G. M., Montgomery, D. R., Piégay, H. y Schmitt, L. (2003). «Geomorphic Classification of Rivers and Streams». En G. M. Kondolf, y H. Piégay (Edits.), *Tools in Fluvial Geomorphology*. Chichester: John Wiley y Sons.
- Kozlowski, T. T. (1984). «Plant responses to flooding of soil». *BioScience*, 34(3), 162-167.
- Kutschker, A., Brand, C. y Miserendino, M. L. (2009). «Evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos del NO del Chubut sometidos a dis-

- tintos usos de la tierra. Asociación Argentina de Ecología». *Ecología Austral*, 19(1), 19-34.
- Lebrija-Trejos, E. E. (2001). *Análisis estructural de la vegetación ribereña en la región de Nizanda, Oaxaca, México*. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Leopold, L. B. y Wolman, M. G. (1957). *River channel patterns: braided, meandering, and straight*. (Documento profesional de la Geological Survey 282B, 39-85) Washington: United States Government Printing Office.
- Lite, S. J., Bagstad, K. J. y Stromberg, J. C. (2005). «Riparian plant species richness along lateral and longitudinal gradients of water stress and flood disturbance, San Pedro river, Arizona, USA». *Journal of Arid Environments*, 63(4), 785-813.
- Lott, E. J., Bullock, S. H. y Solis-Magallanes, J. A. (1987). «Floristic diversity and structure of upland and arroyo forests of coastal Jalisco». *Biotropica*, 19(3), 228-235.
- Magdaleno, F., Martínez, R. y Roch, V. (2010). «Índice RFV para la valoración del estado del bosque de ribera». *Ingeniería Civil*, 157, 85-96.
- Malanson, G. P. (1993). *Riparian Landscapes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- March, I. y Martínez, M. (2007). *Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad, prioridades en México*. Ciudad de México: IMTA-CONABIO-GECI-AridAmérica, The Nature Conservancy.
- Martínez, L., Graf, S., Santana, E. y García, S. (2005). *Gestión y manejo del agua en la cuenca del río Ayuquila-Armería*. Documento presentado en el Primer Congreso Internacional de Casos Exitosos de Desarrollo Sostenible del Trópico del 2-4 de mayo de 2005 en Boca del Río, Veracruz, México.
- Martínez R., L. M., Santana C., Iñiguez D., Santana M. y Carranza M. (2000). *Programa de acciones del Ingenio Melchor Ocampo para la restauración ecológica del río Ayuquila*. (Informe técnico final). Guadalajara: Universidad de Guadalajara, Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad.
- McCune, B. y Grace, J. B. (2002). *Analysis of Ecological Communities*. Glendon Beach: MjM Software Design.
- Meli, P. (2014). *Restauración de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas ribereños y otros humedales. Metanálisis global y evaluación de*

- especies útiles en el trópico húmedo mexicano*. Memoria de Tesis Doctoral. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá de Henares.
- Meli, P. y Carrasco-Carballido, V. (2011). *Restauración ecológica de riberas. Manual para la recuperación de la vegetación ribereña en arroyos de la Selva Lacandona. Corredor Biológico Mesoamericano-México*. Serie Diálogos núm. 5, Ciudad de México: Conabio.
- Mercado-Silva, N., Lyons, J., Salgado-Maldonado, G. y Medina-Nava, M. (2002). «Validation of a FishBased index of biotic integrity for streams and rivers of central Mexico». *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 12(1-2), 179-191.
- Merritt, R. W. y Cummins K. W. (Edits.) (1996). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Meybeck, M. y Helmer, R. (1989). «The quality of rivers: from pristine stage to global pollution». *Paleography, Palaeoclimatology, palaepeology (Global and Planetary Change Section)*, 75(4), 283-309.
- Meza, R. D. (2006). *Caracterización hidrográfica de la cuenca Ayuquila-Armería mediante la aplicación de un sistema de información geográfica (SIG)*. Tesis de Ingenierio en Recursos Naturales y Agropecuarios. Autlán de Navarro: Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur.
- Meza R., D. (2017). *Análisis del régimen de caudal del río Ayuquila-Armería*. Tesis del doctorado en Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas de la Benemérita Universidad de Guadalajara. Autlán de Navarro: Centro Universitario de la Costa Sur.
- Millenium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis*. Washington D. C.: World Resources Institute.
- Mira, A. (2008). Mamíferos. En Arizpe, D., Mendes, A., Rabaça, J. E. (Coords.), *Áreas de ribera sostenibles*. Ripidurable: Generalitat Valenciana.
- Montgomery, D. R. y Buffington, J. M. (1997). «Channel reach morphology in mountain drainage basins». *Geological Society of America Bulletin*, 109(5), 596-611.
- Moya, N., Hughes, R. M., Domínguez, E., Gibon, F. M., Goitia, E., y Oberdorff, T. (2011). «Macroinvertebrate-based multimetric predictive models

- for evaluating the human impact on biotic condition of Bolivian streams». *Ecological Indicators* 11(3), 840-847.
- Mueller, J. R. (1968). «An Introduction to the Hydraulic and Topographic Sinuosity Indexes». *Annals of the Association of American Geographers* 58(2), 371-385.
- Munné, A., Solá C. y Prat N. (1998). QBR: «Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera». *Tecnología del Agua*, (175) 20-37.
- Munné, A., Prat, N., Solá, C., Bonada N. y Rieradevall, M. (2003). «A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index». *Aquatic Conservation: Marine Freshwater Ecosystem* 13(2), 147-163.
- Naiman, R. J., Décamps, H. y Pollock, M. (1993). «The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity». *Ecological Applications* 3(2), 209-212.
- Naiman, R. J., Décamps, H. y McClain, M. E. (2005). *Riparia. Ecology, conservation and management of streamside communities*. Amsterdam: Elsevier Academic Press.
- Naiman, R. J. (1998). «Biotic stream classification». En Naiman, R. J. y R. E. Bilby (Edits.), *River Ecology and Management: Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. Nueva York: Springer-Verlag.
- Naiman, R. J. y Décamps, H. (1997). «The ecology of interfaces: riparian zones». *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28(1), 621-658.
- Naiman, R. J., Lonzarich, D. G., Beechie, T. J. y Ralph, S. C. (1992). «General principles of classification and the assessment of conservation potential in rivers». En P. Boon, P. Calow y G. Petts (Edits.), *River Conservation and Management*. Chichester: Wiley and Sons.
- Naiman, R. J., Bilby, R. E. y P. A. Bisson (2000). «Riparian ecology and management in the Pacific coastal rain forest». *BioScience*, 50(11), 996-1011.
- Ollero, A., Ibisate, A., Gonzalo, L. E., Acpin, V., Ballarín, D., Díaz, E., Domenech, S., Gimeno, M., Granado, D., García, J. H., Mora, D. y Sánchez, M. (2011). «The IHG index for hydromorphological quality assessment of rivers and streams: Updated version». *Limnetica*, 30(2), 255-262.
- Ollero, O., Ballarín, D., Díaz F, B., Mora, D., Sánchez M., Acín, N. V., Echeverría, M. T., Granado, D., Ibisate, A., Sánchez, L. y Sánchez, N.. (2008). *Limnetica* 27(1), 171-188.

- Olmsted, I. (1993). «Wetlands of Mexico». En D. F. Whigham, D. Dykyjová y S. Hejný (Edits.), *Wetlands of the world I: inventory, ecology and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Ortiz-Arrona, C. y Gerritsen, P. (2018). «Restauración participativa de corredores ribereños del río Ayuquila, en el sur del estado de Jalisco, México». En Rojas, Rodríguez y González (Coords.), *Las ciencias en los estudios del agua. Viejos desafíos sociales y nuevos retos tecnológicos*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Ortiz-Arrona, C., Gerritsen, P. y Martínez, L., M. (2008). *Riparian vegetation, stakeholder use and management practices: Elements for restoration based on experiences from the Ayuquila watershed, Mexico*. Conferencia sobre restauración de ríos Proceedings 4th ECRR en Venecia, Italia.
- Ortiz-Arrona, C., Gerritsen, P., Martínez, L. M. y Snoep M. (2004). *Restauración de bosques ribereños en paisajes antropogénicos, en el occidente de México*. Simposio internacional de restauración ecológica en Santa Clara, Cuba. Recuperado de <[http://www.globalrestorationnetwork.org/uploads/files/CaseStudyAttachments/132\\_estudio-de-caso.pdf](http://www.globalrestorationnetwork.org/uploads/files/CaseStudyAttachments/132_estudio-de-caso.pdf)>.
- Palma, A., Figueroa, R. y Ruiz, V. H. (2009). «Evaluación de ribera y hábitat fluvial a través de los índices QBE y IHF». *Gayana Bot.* 73(1), 57-63.
- Palomera, C. (2012). *Effects of land-use activities in the Ayuquila river's fauna*. Tesis Doctoral de la Simon Fraser University. Burnaby: Simon Fraser University.
- Pardo, I., Alvarez, M., Casas, J., Moreno, J. L. Vivas, S. Bonada, N., Alba-Tercedor, J., Jáimez-Cuéllar, P. Moyà, G., Prat, N., Robles, S., Suárez, M. L., Toro M. y Vidal-Albarca, M. R. (2002). «El Hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat». *Limnetica*, 21(3-4), 115-133.
- Pennington, T. D. y Sarukhán J. (2005). *Árboles tropicales de México. Manual para identificación de las principales especies*. UNAM: Ediciones Científicas Universitarias.
- Peralta P., L. A. y P. Moreno-Casasola (2009). «Composición florística y diversidad de la vegetación de humedales en los lagos interdunarios de Veracruz». *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 85, 89-101.
- Pérez G., Meave, J. y Gallardo, C. (2001). «Vegetación y flora de la región de Nizanda, istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México». *Acta Botánica Mexicana*, 56, 19-88.

- Pérez-Calix, E. y Carranza, G. E. (1999). *Flora del bajío y de regiones adyacentes*. Fascículo complementario XXI. Pátzcuaro: Instituto de Ecología
- Pérez-Munguía, R. M. y Pineda L. (2005). «Diseño de un índice de integridad biótica para ríos y arroyos del centro de México, usando las asociaciones de macroinvertebrados». *Entomología Mexicana*, 4, 241-245.
- Petersen, R. C. (1992). «The RCE a Riparian and Channel Inventory for small streams in the agricultural landscape». *Freshwater Biology* (27), 295-306.
- Petts, G. E. (2000). «A perspective on the abiotic processes sustaining the ecological integrity of running waters». *Hydrobiologia*, 422/423(0), 15-27.
- Pickett, S. T. A. y Rogers, K. H. (1997). «Patch dynamics: the transformation of landscape structure and function». En J. A. Bissonette (Ed.), *Wildlife and landscape ecology: effects of pattern and scale*. Nueva York: Springer-Verlag.
- Pineda, F. (2007). *Morfología de plántulas en la selva seca de Chamela: divergencias entre pares congénéricos especializadas en hábitats húmedos vs. secos*. Tesis de maestría. Ciudad de México: UNAM.
- Poff, N. L. y Ward, J. V. (1989). «Implications of stream flow variability and predictability for biotic community structure: a regional analysis of streamflow patterns». *Canadian Fisheries Aquatic Science*, 46(10), 1805-1818.
- Poff, N.L. y Ward, J.V. (1990). The physical habitat template of lotic systems: Recovery in the context of historical pattern of spatio-temporal heterogeneity. *Environmental Management* 14(5), 628-646.
- Polzin, M. L. y Rood, S. B. (2006). «Effective disturbance: Seedling safe sites and patch recruitment of riparian cottonwoods after a major flood of a mountain river». *Wetlands*, 26(4), 965-980.
- Postel, S. y Richter, B. (2003). *Rivers for life: managing water for people and nature*. Washington D. C.: Island Press.
- Postel, S. y Carpenter, S. R. (1997). «Freshwater ecosystem services». En G. Daily (Ed.), *Nature's services*. Washington D. C.: Island Press.
- Pusey, B. J. y Arthington, A. H. (2003). «Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: a review». *Marine and Freshwater Research*, 54, 1-16.
- Ramamoorthy, T. P., Bye, R., Lot, A., y Fa, J. (Edits.) (1993). *Biological diversity of Mexico. Origins and distribution*. Oxford: Oxford University Press.

- Raven, P. J., Holmes, N. T. H., Charrier, P., Dawson, F. H., Naura, M. y Boon, P. J. (2002). «Towards a harmonized approach for hydromorphological assessment of rivers in Europe: A qualitative comparison of three survey methods». *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 12(4), 405-424.
- Risser, P. G. (1990). «The ecological importance of land water ecotones». En R. J. Naiman y H. Decamps (Eds), *The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones*. París: UNESCO, Parthenon Publishing Group. (Man and the Biosphere Series).
- Roché, J. y Frochot, B. (2008). «Las aves de ribera». En D. Arizpe, Mendes, A. y Rabaça, J. E. (Coords.) *Áreas de ribera sostenibles*. Generalitat Valenciana, pp. 105-109.
- Rodríguez-Téllez, E., Domínguez-Calleros, P. A., Pompa-García, M., Quiroz-Arratia, J. A. y Pérez, M. E. (2012). «Calidad del bosque de ribera del río El Tunal, Durango, México, mediante la aplicación del índice QBR». *Gayana Bot.* 69(1), 147-151.
- Rodríguez, T. (2006). *Análisis socioecológico de la vegetación ribereña en el río Ayuquila*. Tesis de ingeniero en Recursos Naturales y Agropecuarios, Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Román-Guzmán, T., Pizano-Portillo, A., Martínez-Rivera, L. M., Ortiz-Arona, C., Brian, C. I., K., Ponce-Martínez, O. G. y Rosales-Adame, J. J. (2018). *Plan de acción para la gestión integral de la cuenca del Río Ayuquila-Armería*. (Documento técnico de gestión). Colima: Comisión de Cuenca del Río Ayuquila-Armería (CCRAA).
- Rosenberg, D. B. y S. M. Freedman (1994). «Temporal heterogeneity and ecological community structure». *International Journal of Environmental Studies*, 46(2-3), 97-102.
- Rosgen, D. L. (1996). *Applied river morphology*. Pagosa Springs: Wildland Hydrology Books.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Ciudad de México: Limusa.
- Rzedowski, J. (1991). «Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México». *Acta Botánica Mexicana* 14(14), 3-21.
- Sá-Sousa, P. (2008). «Anfibios y reptiles semiacuáticos». En Arizpe, D., Mendes, A., Rabaça, J. E. (Coords.), *Áreas de ribera sostenibles*. Ripidurable: Generalitat Valenciana, pp. 101-104.



- Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R., y Zambrano, L. (Edits.) (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Sánchez S., R. (1986). Vegetación en galería y sus relaciones hidrogeomorfológicas. *Ingeniería Hidráulica en México*, 1(3), 70-78.
- Santana, E., Navarro, S., Martínez, L. M., Aguirre, A., Figueroa, P. y Aguilar, C. (1993). «Contaminación, aprovechamiento y conservación de los recursos acuáticos del río Ayuquila, Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México». *Tiempos de Ciencia*, (30) 29-38.
- Santana-Michel, F. J., Cuevas, R., Guzmán, L. y Sánchez, E. (En prensa). «Flora y vegetación ribereña del río Ayuquila». En R. Martínez y C. Ortiz-Arrona (Coords.), *Investigación y gestión de los recursos naturales de la cuenca del río Ayuquila*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Semarnat (2012). NMX-AA-159-SCFI-2012. Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de septiembre de 2012.
- Semarnat (2010). NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestres Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de diciembre de 2010.
- Schumm, S. A. (1977). *The fluvial system*. Nueva York: John Wiley y Sons.
- Scott, M. L., Friedman, J. M. y Auble, G. T. (1996). «Fluvial processes and the establishment of bottomland trees». *Geomorphology*, 14(4), 327-339.
- SER (Society for Ecological Restoration) (2002). *The SER primer on ecological restoration*. California: SER Science and Policy Working Group. Recuperado de <<http://www.ser.org>>.
- Serrato, A., G. Ibarra-Manríquez y K. Oyama (2004). «Biogeography and conservation on the genus *Ficus* (Moraceae) in Mexico». *Journal of Biogeography*, 31(3), 475-485.
- Sinat/Semarnat (Sistema Nacional de Trámites/Secretaría del medio Ambiente y Recursos Naturales). *Proyecto de explotación de materiales pétreos. rectificación de curvas: Río Armería*. Recuperado de <<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/col/estudios/2008/06CL2008MD011.pdf>>.

- Snelder, T. H. y Biggs, B. J. F. (2002). «Multiscale river environment classification for water resources management». *Journal of the American Water Resources Association*, 38(5), 1225-1239.
- Solís, C. F. (2011). *Identificación de indicadores de degradación del Río Sain Alto a partir de una caracterización geomorfológica, bioecológica y de uso de suelo*. Documento presentado en el Simposio Nacional sobre Restauración de Ríos y Riberas, llevado a cabo en Autlán de Navarro, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Jalisco, México. Recuperado de <<http://148.202.114.23/derns/wp-content/uploads/2011/07/Rio-Sain-Alto-Fernando-Solis.pdf>>.
- Spackman, S. C. y Hughes, J. W. (1995). «Assessment of minimum stream corridor width for biological conservation: species richness and distribution along mid-order streams in Vermont, USA». *Biological Conservation* 71(3), 325-332.
- Stanford, J. A. y Ward, J. V. (1988). «The hyporheic habitat of river ecosystems». *Nature*, 335, 64-66.
- Stromberg, J. (1998). Dynamics of Fremont cottonwood (*Populus fremontii*) and saltcedar (*Tamarix chinensis*) populations along the San Pedro river, Arizona. *Journal of Arid Environments*, 40(2), 133-155.
- Stromberg, J. C., Fry, J. y Patten, D. T. (1997). «Marsh development after large floods in an alluvial, arid-land river». *Wetlands*, 17(2), 292-300.
- Suárez, M. L., Vidal-Abarca, M. R. G., Navarro, I., Gómez, R. y López F. (2010). «Los arroyos de Baja California Sur (México): caracterización ambiental y aplicación de un índice de estado de alteración (IAR)». *Rev. C. & G.*, 24(1-2), 63-77.
- Suárez, M. L., Vidal-Abarca, M. R., Sánchez-Montoya, M. del M., Alba-Tercedor, J., Álvarez, M., Avilés, J., Bonada, N., Casas, J., Jaimes-Cuellar, P., Munné, A., Pardo, I., Prat, N., Rieradevall, M., Salinas, M. J., Toro, M. y Vivas, S. (2002). «Las riberas de los ríos mediterráneos y su calidad: el uso del índice QBR». *Limnetica*, 21(3-4), 135-148.
- Swaine, M. D. y T. C. Whitmore (1988). «On the definition of ecological species groups in tropical rain forests». *Vegetatio*, 75, 81-86.
- Sweeny, B., Bott, T., Jackson, J., Kaplan, L., Newbold, J., Standley, L., Hession, W. y Horwitz R. (2004). *Riparian deforestation, stream narrowing and loss of ecosystem services*. Proceedings of the North American Academy of Sciences, 101(39), 14132-14137.

- Tabacchi, E., Planty-Tabacchi, A. M., Salinas M. J. y Décamps H. (1996). Landscape structure and diversity in riparian plant communities: a longitudinal comparative study. *Rivers-Research & Applications*, 12(4-5), 367-390.
- Tabacchi, E., Planty-Tabacchi, A. M. y Décamps, O. (1990). «Continuity and discontinuity of the riparian vegetation along a fluvial corridor». *Landscape Ecology* 5(1), 9-20.
- Tabacchi, E., Correll, D. L., Pinay, G., Planty-Tabacchi, A. M. y Wissmar, R. C. (1998). «Development, maintenance and role of riparian vegetation in the river landscape». *Freshwater Biology*, 40(3), 497-516.
- Témez, J.R. (1977). *Modelo matemático de transferencia de precipitación-aportación*. Asimel.
- Ter Braak, C. J. F. (1990). «Update Notes: CANOCO versión 3.1». *Agricultural Mathematics Group*. Países Bajos: Wageningen.
- Thorne, C. R. (1997). «Channel types and morphological classification». En C. R. Thorne, R. D. Hey y M. D. Newson (Edits.), *Applied Fluvial geomorphology for River engineering and management*. Chichester: John Wiley & sons, pp. 175-222.
- Toledo, V. M. y Ordóñez, M. (1993). «The biodiversity scenario of Mexico: a review of terrestrial habitats». En Ramamoorthy, T. P. y R. Bye, A. Lotte y J. Fa (Edits.) *Biological diversity of Mexico*. Origins and distribution. Oxford University Press. Nueva York.
- Toledo, V.M. y M. Ordoñez (1996). *Mapa: zonas ecológicas, obtenido del proyecto «Diagnóstico de los escenarios de la biodiversidad de México a través de un sistema de información eco-geográfica»*. Morelia: INE/UNAM/Conabio.
- Trani, G., Chávez, J., Oropeza, J. L., y Hernández, M. I. (2013). «Propuesta de plan de manejo de agua en la zona de la subcuenca hidrográfica Armería». *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* 34(3), 3-16.
- Treviño, E., Cavazos, C. y Aguirre, O. A. (2001). «Distribución y estructura de los bosques de galería en dos ríos del centro sur de Nuevo León». *Madera y Bosques* 7(1), 13-25.
- Van Pelt, R., O'Keefe, T. C., Latterell, J. J. y Naiman, R. J. (2006). «Riparian forest stand development along the Queets River in Olympic National Park, Washington». *Ecological Monographs*, 76(2), 277-298.

- Vázquez, G., A., R. Cuevas G., S.T. Cochrane y H.H. Iltis (1995). «Flora de Manantlán». *Sida Botanical Miscellany*, 13, 312.
- Vibrans, H. (2005). *Malezas de México*. (Sitio web). Conabio. Recuperado de <<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm>>.
- Villaseñor, J. L. y Espinosa-García, F. J. (1998). *Catálogo de Malezas de México*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Walters, C. J. y Holling, C. S. (1990). «Large-scale management experiments and learning by doing». *Ecology*, 71(6), 2060-2068.
- Ward, J. V. y Stanford, J. A. (1995). «Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation». *Regulated rivers: Research & Management* 11(1), 105-119.
- Ward, J. V., Tockner, K., Arscott, D. B. y Claret, C. (2002). «Riverine landscape diversity». *Freshwater Biology*, 47(4), 517-539.
- Ward, T. A., Tate, K. W. y Atwill, E. R. (2003). «Visual assessment of riparian health». *Rangeland Monitoring Series, ANR Publication 8089*. Oakland: Regents of the University of California, Division of Agriculture and Natural Resources.
- Williams, M., Rastetter, E. B., Fernandes, D. N., Goulden, M. L., Johnson L. C. y Shaver G. R. (1997). «Predicting gross primary productivity in terrestrial ecosystems». *Ecological Applications*, 7(3), 882-894.
- Wolman, M. G. (1954). «A method of sampling coarse river-bed material». *Transactions of the American Geophysical Union*, 35(6), 951-956.
- Wright, J. F., Armitage, P. D., Furse M. T. y Moss D. (1989). «Prediction of invertebrate communities using stream measurements». *Regulated Rivers: Research and Management*, 4(2), 147-155.
- WWF-México Programa Agua (2009). *Propuesta de caudal ecológico en la cuenca San Pedro-Mezquital y su consideración en el estudio de disponibilidad de aguas superficiales*. Ciudad de México: WWF-México Programa Agua.

*Los corredores ribereños*  
*en la cuenca del río Ayuquila-Armería en México*  
*Vegetación ribereña y calidad de las riberas*  
se terminó de imprimir en julio de 2019 en  
Editorial Página Seis, S. A. de C. V.  
Teotihuacan 345, Ciudad del Sol,  
C. P. 45050, Zapopan, Jalisco  
Tels. (33) 3657-3786 y 3657-5045  
[www.pagina6.com.mx](http://www.pagina6.com.mx) • [p6@pagina6.com.mx](mailto:p6@pagina6.com.mx)

Coordinación editorial: Felipe Ponce



**E**n México, además de la contaminación de los ríos, la pérdida de los ecosistemas ribereños es uno de los principales problemas que afectan a las cuencas hidrográficas. Los corredores de vegetación ribereña configuran las riberas de los ríos y arroyos en el paisaje, además tienen un papel fundamental para la conservación de la biodiversidad y el aporte de múltiples servicios ecosistémicos, como la disponibilidad de agua en cantidad y calidad. El objetivo de este libro es la generación de conocimientos acerca del conjunto de procesos de los que depende la dinámica de los ecosistemas ribereños en la cuenca del río Ayuquila-Armería, y de aquellas presiones que propician su degradación, esenciales para sentar las bases científicas de estrategias de conservación, manejo y restauración ecológica.

Este volumen está organizado en cinco capítulos: un marco general acerca del ecosistema fluvial, una propuesta metodológica para la caracterización y clasificación tipológica de los ríos y arroyos, la caracterización de la composición y estructura de la vegetación ribereña, la evaluación del estado ecológico de las riberas aplicando indicadores de la estructura y dinámica fluvial, y el aporte de una discusión general. El libro concluye con recomendaciones de manejo enfocadas a la conservación, protección y restauración de los corredores de vegetación ribereña del río Ayuquila-Armería, en el occidente de México, aplicables a otras cuencas del país con tipologías de ríos similares.



**CUCOSTA SUR  
GRANA** ●