

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Maestría en Ciencias Biológicas

Estructura y composición vegetal del bosque de galería de tres ríos urbanos: Atoyac, Puebla; Paisanos, San Luis Potosí y El Pueblito, Querétaro

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias Biológicas

Presenta

Tania Hadassa Acosta Ruiz

Dirigido por

Dra. Tamara Guadalupe Osorno Sánchez

Querétaro, Qro. Diciembre de 2023.



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Estructura y composición vegetal del bosque de
galería de tres ríos urbanos: Atoyac, Puebla; Paisanos,
San Luis Potosí y El Pueblito, Querétaro

por

Tania Hadassa Acosta Ruiz

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Clave RI: CNMAC-246096



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Maestría en Ciencias Biológicas

Estructura y composición vegetal del bosque de galería de tres ríos urbanos: Atoyac,
Puebla; Paisanos, San Luis Potosí y El Pueblito, Querétaro

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:
Maestra en Ciencias Biológicas

Presenta

Tania Hadassa Acosta Ruiz

Dirigido por

Dra. Tamara Guadalupe Osorno Sánchez

SINODALES

Dra. Tamara Guadalupe Osorno Sánchez
Presidente

Firma

M. en C. José Alejandro Cabrera Luna
Secretario

Firma

Dr. Juan Pablo Ramírez Herrejón
Vocal

Firma

Dr. Pabel Antonio Cervantes Avilés
Suplente

Firma

Dra. Lourdes Marcela López Mares
Suplente

Firma

Dr. José Guadalupe Gómez Soto
Director de la Facultad de Ciencias
Naturales

Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Directora de investigación y
posgrado de la Facultad de
Ciencias Naturales

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Diciembre 2023

RESUMEN

Los bosques de galería son formaciones boscosas que se ubican en los márgenes de cuerpos de agua. Su composición, estructura y disposición están determinadas por factores hidrológicos, fluviales, climáticos, relieve y características del suelo. Proveen importantes servicios ambientales, sin embargo, debido a su cercanía con asentamientos humanos, su estructura y composición se han modificado considerablemente, por lo que su conservación requiere de estrategias de manejo que vinculen el funcionamiento y resiliencia socioambiental de estos hábitats. En el presente estudio se analizó la estructura, composición, diversidad, similitud y condición de las riberas de los ríos El Pueblito, Paisanos y Atoyac, en áreas urbanas y periurbanas de Querétaro, San Luis Potosí y Puebla, México. En seis sitios de muestreo se establecieron cuatro transectos de 100 m² (10 x 10 m) y se evaluó la altura (h), diámetro del tronco, diámetros de las copas, abundancia, dominancia, frecuencia, índice de valor de importancia (IVI), índice de diversidad de Shannon-Weiner (H'), índice de diversidad verdadera de Shannon (1D), índice de Similitud de Jaccard (Ij) e índice de calidad ecológica de las riberas (RQI). Se registraron 80 especies en total, pertenecientes a 43 familias y 75 géneros. Siendo la familia Asteraceae la mejor representada con 13 especies. El 71% de la flora fue nativa de México. Diez especies se clasificaron como invasoras. La forma de vida herbácea predominó en el 65% de las especies (52). Se identificó a la especie *Cupressus lusitanica* clasificada en la categoría de Protección (Pr) en la NOM-SEMARNAT-059-2010. El río que presentó mayor riqueza de especies fue Paisanos (40), seguido de El Pueblito (35) y Atoyac (34). Los valores de diversidad verdadera (¹D) oscilaron entre 7.91 y 20.93, indicando diversidad media y alta. La mayor similitud se encontró entre TUPa y TUPu (24%), reflejando semejanza baja. Los perfiles de vegetación evidenciaron las modificaciones estructurales y de distribución de cada río. La condición de las riberas se clasificó de muy mala a buena (22-80), observándose los valores más bajos en los tramos urbanos.

Palabras clave: bosque de galería, Río El Pueblito, Río Paisanos, Río Atoyac

SUMMARY

Gallery forests are forest formations located on the margins of bodies of water. Its composition, structure and disposition are determined by hydrological, fluvial, climatic factors, relief and soil characteristics. They provide important environmental services, however, due to their proximity to human settlements, their structure and composition have been considerably modified, so their conservation requires management strategies that link the functioning and socio-environmental resilience of these habitats. In the present study, the structure, composition, diversity, similarity and condition of the banks of the El Pueblito, Paisanos and Atoyac rivers were analyzed in urban and peri-urban areas of Querétaro, San Luis Potosí and Puebla, Mexico. In six sampling sites, four transects of 100 m² (10 x 10 m) were established and height (h), trunk diameter, crown diameters, abundance, dominance, frequency and importance value index (IVI), Shannon-Weiner diversity index (H'), Shannon true diversity index (¹D), Jaccard Similarity index (Ij) and riparian quality index (RQI). A total of 80 species were founded, belonging to 43 families and 75 genera. The Asteraceae family is the best represented with 13 species. 71% of the flora was native to Mexico. Ten species were classified as invasive. The herbaceous way of life predominated in 65% of the species (52). The *Cupressus lusitanica* species classified in the Protection category (Pr) in NOM-SEMARNAT-059-2010 was identified. The river that presented the highest species richness was Paisanos (40), followed by El Pueblito (35) and Atoyac (34). True diversity (¹D) values ranged from 7.91 to 20.93, indicating medium and high diversity. The greatest similarity was found between TUPa and TUPu (24%), reflecting low similarity. The vegetation profiles showed the structural and distribution modifications of each river. The condition of the banks was classified from very bad to good (22-80), with the lowest values observed in the urban sections.

Keywords: gallery forest, El Pueblito River, Paisanos River, Atoyac River

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para la realización de mis estudios de maestría.

A Tamara, Alex, Juanpa, Marce y Pabel, por sus enseñanzas, paciencia y acompañamiento durante la escritura del trabajo y las visitas de campo a lo largo de estos dos años.

A mis papás, por impulsarme siempre a perseguir mis sueños y ser mis mejores ejemplos de perseverancia, dedicación y amor incondicional.

A Gis, por siempre creer en mí y ser mi mayor inspiración.

A Marco, por su amor y apoyo incondicional durante esta travesía, por sostenerme cuando lo necesité, por impulsarme y nunca dejarme sola.

A Renato, Dulce, Liz, Richie, Emmanuel y a los estudiantes de Puebla y San Luis Potosí, por acompañarme a muestrear, sin importar las espinas o lluvia encontradas en cada recorrido.

A Robin y Clementina, por estar presentes en las noches de desvelos y hacer mis días más felices.

Infinitas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|------------|
| RESUMEN | I |
| SUMMARY | II |
| AGRADECIMIENTOS | III |
| ÍNDICE DE CONTENIDO | IV |
| ÍNDICE DE CUADROS | VI |
| ÍNDICE DE FIGURAS | VII |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. JUSTIFICACIÓN | 4 |
| III. ANTECEDENTES | 5 |
| SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RÍOS URBANOS | 7 |
| MARCO LEGISLATIVO Y LA VEGETACIÓN RIPARIA EN MÉXICO | 9 |
| CASOS DE ESTUDIO..... | 10 |
| IV. MARCO TEÓRICO | 18 |
| BOSQUE DE GALERÍA O VEGETACIÓN RIBEREÑA | 18 |
| ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN VEGETAL DEL BOSQUE DE GALERÍA | 19 |
| SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL BOSQUE DE GALERÍA | 22 |
| METODOLOGÍAS PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LAS RIBERAS..... | 23 |
| V. OBJETIVOS | 24 |
| OBJETIVO GENERAL | 24 |
| OBJETIVOS PARTICULARES | 24 |
| VI. MATERIALES Y MÉTODOS | 24 |
| ÁREA DE ESTUDIO | 24 |
| MUESTREO DE LA VEGETACIÓN | 28 |
| ANÁLISIS DE INFORMACIÓN..... | 30 |
| VII. RESULTADOS | 33 |
| COMPOSICIÓN FLORÍSTICA | 33 |
| DIVERSIDAD | 39 |
| COEFICIENTE DE SIMILITUD | 40 |
| ÍNDICE DE VALOR DE IMPORTANCIA | 41 |
| PERFILES DE VEGETACIÓN | 45 |
| ÍNDICE RQI PARA LA VALORACIÓN DE LAS RIBERAS | 51 |
| VIII. DISCUSIÓN | 60 |
| IX. CONCLUSIÓN | 67 |
| XI. RECOMENDACIONES | 68 |

| | |
|--|-----------|
| XI. FUENTES REFERENCIALES | 69 |
| XII. APÉNDICES..... | 89 |
| APÉNDICE I. LISTADO FLORÍSTICO DE LOS RÍOS EL PUEBLITO, PAISANOS Y ATOYAC | 89 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo | 25 |
| Cuadro 2. Fórmulas empleadas para determinar los Índices de diversidad, IVI y Coeficiente de similitud | 32 |
| Cuadro 3. Composición florística de los Ríos El Pueblito, Paisanos y Atoyac | 38 |
| Cuadro 4. Número de especies según la forma de vida | 38 |
| Cuadro 5. Índice de Shannon-Weiner (H') e índice de diversidad verdadera de Shannon (1D) de las especies registradas en los tramos evaluados..... | 39 |
| Cuadro 6. Porcentajes de similitud obtenidos mediante el Índice de Jaccard (I_j)..... | 41 |
| Cuadro 7. Especies más importantes por tramo según el Índice de valor de importancia (IVI)..... | 44 |
| Cuadro 8. Índice RQI para la valoración de las riberas | 51 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Localización del Río El Pueblito, Querétaro. | 11 |
| Figura 2. Localización del Río Paisanos, San Luis Potosí. | 13 |
| Figura 3. Localización del Río Atoyac, Puebla. | 16 |
| Figura 4. Ubicación de los sitios de muestreo del Río El Pueblito. | 26 |
| Figura 5. Ubicación de los sitios de muestreo del Río Paisanos. | 27 |
| Figura 6. Ubicación de los sitios de muestreo del Río Atoyac. | 28 |
| Figura 7. Número de especies por familia de los Ríos El Pueblito, Paisanos y Atoyac. | 33 |
| Figura 8. Especies clasificadas como invasoras dentro de México. | 34 |
| Figura 9. Clasificación de las especies acuáticas y subacuáticas. | 35 |
| Figura 10. Clasificación de las especies acuáticas. | 35 |
| Figura 11. Especies tolerantes a ambientes acuáticos o húmedos. | 36 |
| Figura 12. Especies indicadoras de disturbios. | 36 |
| Figura 13. Número de especies según su origen y estatus invasor en México. | 39 |
| Figura 14. Dendrograma de similitud entre los tramos evaluados obtenido mediante el índice de Jaccard (I_j). | 40 |
| Figura 15. Especies más importantes de TNPu. | 41 |
| Figura 16. Especies más importantes de TUPu. | 42 |
| Figura 17. Especies más importantes de TNPa. | 42 |
| Figura 18. Especies más importantes de TUPa. | 42 |
| Figura 19. Especies más importantes de TNA. | 43 |
| Figura 20. Especies más importantes de TUA. | 43 |
| Figura 21. Perfiles de vegetación del Río El Pueblito. | 46 |
| Figura 22. Perfiles de vegetación del Río Paisanos. | 48 |
| Figura 23. Perfiles de vegetación del Río Atoyac. | 50 |
| Figura 24. Atributos evaluados en el tramo natural del Río El Pueblito. | 52 |
| Figura 25. Atributos evaluados en el tramo urbano del Río El Pueblito. | 53 |
| Figura 26. Características evaluadas en el tramo natural del Río Paisanos. | 55 |
| Figura 27. Características valoradas del tramo urbano del Río Paisanos. | 56 |
| Figura 28. Condición del tramo natural de Río Atoyac. | 58 |
| Figura 29. Atributos evaluados en el tramo urbano del Río Atoyac. | 59 |

I. INTRODUCCIÓN

México es considerado como el quinto país con mayor riqueza y diversidad florística a nivel mundial, pese a que el territorio nacional representa tan solo el 1.4% de la superficie terrestre, alberga cerca de 25 mil especies de plantas vasculares, de las cuales, aproximadamente el 65% son endémicas (Rzedowski, 1993). Esta amplia riqueza es producto de su ubicación geográfica, accidentado relieve, variedad climática y su compleja historia geológica (Rzedowski, 1978; Ferrusquía-Villafranca, 1993; Ramamoorthy *et al.*, 1998; Sarukhán *et al.*, 2009).

Uno de los ecosistemas con mayor diversidad, complejidad y dinamismo son los bosques riparios, ribereños o de galería. Los cuales se caracterizan por una flora cuya composición está fuertemente determinada por la intensidad luminosa, el contenido de agua y la granulometría del suelo (Granados *et al.*, 2006). Desde el punto de vista fisonómico y estructural se trata de un conjunto de vegetación muy heterogéneo, su altura varía de 4 a más de 40 m que comprende árboles de hoja perenne, decidua o parcialmente decidua. Los géneros más dominantes de árboles riparios en México incluyen a *Platanus*, *Populus*, *Salix*, *Taxodium*, *Inga*, *Pachira*, *Acer*, *Alnus*, *Carya* y *Fraxinus* (Rzedowski, 1986).

Su composición, estructura y disposición están determinadas principalmente por factores hidrológicos y fluviales, aunque también se ven influenciadas por procesos erosivos y de sedimentación, factores climáticos como la temperatura y la precipitación, el tipo de relieve y por las características del suelo (Huggenberger *et al.*, 1998).

La vegetación riparia provee importantes servicios ambientales, favorece la infiltración del agua, disminuye la erosión de las orillas de los ríos y reduce las escorrentías superficiales aumentando la recarga del manto freático, disminuye el riesgo de inundaciones río abajo, mejora la calidad del agua de los ríos al actuar como filtro y contribuye a la conservación de la biodiversidad, tanto de especies terrestres como acuáticas (Granados *et al.*, 2006). Por ende, la vegetación ribereña y la calidad de los cuerpos de agua poseen una relación estrecha y recíproca, y se vuelve trascendental

mantener la salud de los ecosistemas ribereños para preservar los servicios que estos proveen y la biodiversidad que sostienen (Rodríguez *et al.*, 2016).

Por todo lo anterior, la vegetación de las riberas constituye una unidad biológica que permite evaluar los efectos de cambios que ocurren y permanecen en el tiempo, ya que su supervivencia, biodiversidad y productividad dependen de la geomorfología del sistema y de la dinámica fluvial. Por lo cual, se convierte en un elemento clave del paisaje y de la ecología y entorno de los ríos (Mendoza *et al.*, 2014).

Sin embargo, debido a que, usualmente las poblaciones humanas se establecen cerca de cuerpos de agua, la vegetación asociada a ríos y arroyos es afectada por el cambio de uso de suelo y las actividades antrópicas (Belsky *et al.*, 1999). Actividades como la agricultura, ganadería, minería, industria y la extracción de madera transforman la distribución de la cubierta vegetal y disminuyen la riqueza y abundancia de la vegetación riparia (Canizales-Velázquez *et al.*, 2010; Poff *et al.*, 2012).

Aunado a esto y a la ocurrencia de fenómenos naturales, como inundaciones o incendios, es común que dichas comunidades hayan modificado su estructura y composición florística (Granados-Sánchez *et al.*, 2006). Richardson *et al.* (2007) menciona que las comunidades forestales más impactadas son las que se desarrollan en los márgenes de los ríos; en México, se estima que el 45% de las zonas ribereñas presenta algún grado de alteración (Garrido *et al.*, 2010), mientras que, Cotler y Caire (2009) sostienen que la pérdida de los ecosistemas ribereños es uno de los principales problemas en las cuencas hidrográficas mexicanas.

Los bosques de galería son uno de los ecosistemas menos estudiados en términos florísticos en México, sobre todo en ambientes urbanos; sin embargo, en los últimos años el interés sobre la estructura y composición de la vegetación riparia del país ha incrementado, ampliando el conocimiento de las regiones evaluadas y favoreciendo la integración de inventarios. Para el centro de México, destaca el estudio realizado por Vázquez-Medrano (2011) en la ciudad de México y el de Aguilar-Luna (2018) en el estado de Puebla. En tanto que, para la región norte, el de Mata-Balderas *et al.* (2007) en Nuevo León, el de Solís-

Garza *et al.* (2017) en Sonora y el de Sampayo-Maldonado *et al.* (2021) en Sinaloa. Mientras que, para el sur sobresale el estudio de Escalona-Domenech *et al.* (2022) en Chiapas.

Estos estudios evidencian las modificaciones estructurales y de composición de las comunidades riparias al encontrarse en contextos antrópicos, tales como, la disminución en la abundancia de individuos arbóreos, disminución en la riqueza florística, dominio de unas pocas especies y la presencia de especies exóticas e invasoras. Demostrando el alto grado de degradación y transformación que presentan en el país (Díaz-Pascacio *et al.*, 2018; Ortiz, 2019; Rodríguez-Téllez *et al.*, 2016).

Respecto a la calidad de las riberas, hoy día existen numerosas metodologías para su valoración rápida y sencilla, basadas en técnicas de reconocimiento visual que las hacen muy apropiadas para abordar estudios relativos a una gran superficie, entre ellas, destaca el índice de calidad ecológica de las riberas (RQI) propuesto por González del Tánago y García de Jalón (2006) el cual permite conocer el estado de conservación de las riberas fluviales y facilita el diagnóstico de los principales problemas de las riberas (Hernández-Vargas *et al.*, 2020). Dentro de los estudios que emplearon este índice en las riberas mexicanas sobresalen los de Díaz-Pascacio *et al.* (2018) y Escalona-Domenech *et al.* (2022) en Chiapas, y Hernández-Vargas *et al.* (2020) en Jalisco. Indicando que, la regeneración natural, composición y estructura de la vegetación corresponden a los atributos más afectados de las riberas en contextos urbanos.

No obstante, el conocimiento florístico actual sobre los Ríos El Pueblito, Paisanos y Atoyac es escaso, siendo trascendental evaluar a escala local, la estructura y composición vegetal, y la condición de las riberas de éstos, con la finalidad de incluir este conocimiento en una planeación urbana que vincule el funcionamiento y resiliencia socioambiental de estos hábitats. De manera que, el presente trabajo busca generar una línea de investigación que determine el estado actual de tres ríos urbanos del país, con el propósito identificar acciones y esfuerzos orientados a su rehabilitación y recuperación para mejorar su manejo.

Este estudio plantea las siguientes preguntas de investigación: ¿Existen diferencias en los atributos de la vegetación entre tramos en zonas naturales y zonas urbanas para cada río? y ¿Cuál es la relación entre la condición de las riberas y la estructura y composición vegetal de cada río?

II. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, las actividades humanas, los procesos de urbanización y el crecimiento demográfico han ocasionado la destrucción y/o modificación drástica de los cuerpos de agua, ya que alteran el ciclo hidrológico y ejercen una presión directa sobre los recursos naturales, propiciando la fragmentación del paisaje, cambios en la estructura y función de los ecosistemas, composición y riqueza de especies, y pérdida de biodiversidad (Troche y Guarachi, 2001; Romero *et al.*, 2011).

Las comunidades vegetales ligadas al medio acuático son muy diversas y heterogéneas fisionómicamente y estructuralmente. A menudo se presentan de forma muy dispersa, mal definidas y ocupando superficies limitadas (Rzedowski, 1986). Aunado a la dificultad que representa la exploración de ambientes acuáticos, a las múltiples interacciones que mantienen con vegetación circundante y a la influencia socio-ambiental, se obstaculiza su estudio, descripción y comprensión a nivel ecosistémico.

La falta de información sobre la estructura y composición de todas las variantes de este tipo de formación vegetal, no ha permitido establecer con toda claridad si se trata de varios tipos de vegetación o si son solo agrupaciones subordinadas de una gran unidad que se manifiestan de manera diferente en la gran diversidad de climas y condiciones ecológicas de los hábitats inundables del país (Lot *et al.*, 2015).

Pese a que el índice RQI ha sido poco empleado en México, es considerado como una herramienta de rápida aplicación que permite relacionar el estado de cada tramo con las presiones e impactos existentes y contribuye de forma significativa al diseño de estrategias para su restauración y conservación (Hernández *et al.*, 2020).

El conocimiento de la diversidad biológica de un área geográfica particular comienza por su inventario (Bonilla-Barbosa, 2004). Por ello es fundamental la realización de investigaciones enfocadas a conocer los aspectos florísticos, taxonómicos, ecológicos y fitogeográficos en diferentes tramos de los ríos. Lo cual nos ayudará a comprender la dinámica y cambios en su estructura y composición, y nos brindarán las herramientas básicas para su manejo y conservación, que propiciarán la toma de decisiones y conciencia por parte de las autoridades y de la sociedad.

III. ANTECEDENTES

Un gran número de ciudades alrededor del mundo se establecieron y desarrollaron alrededor de cuerpos de agua, principalmente ríos, condicionando la forma urbana y sus procesos de crecimiento (Duran, 2014). Los ríos funcionaban como vías de transporte y comunicación, áreas paisajísticas, fuentes agua y alimento.

Los ríos urbanos son ecosistemas vulnerables debido a la presión urbana que se ejerce sobre ellos a favor del crecimiento de las ciudades y de la economía (Gómez-Monreal, 2019). Convirtiéndolos en receptores de aguas negras, residuos químicos y sólidos no tratados, provocando alteraciones al ciclo hídrico, contaminación de ecosistemas fluviales, pérdida de la biodiversidad, escasez de agua potable, inundaciones y afectaciones a la salud humana, entre otros.

De acuerdo con Gehl (2014) y Lynch (2015), el río es un elemento borde, que separa una zona de otra, y funciona como un espacio de intercambio entre la naturaleza (agua, flora y fauna) y las personas. Mientras que, Jacobs (2011) los define como fronteras en la trama urbana que limitan y dividen la estructura de los barrios y dificultan su relación e interconexión espacial.

El viejo paradigma consideraba los ríos como un peligro, tanto por las inundaciones que provocaban en temporada de lluvias, como por los riesgos que representaban para la salud pública por la confinación de residuos sólidos y la saturación de aguas residuales. A nivel mundial esta percepción de los ríos de la ciudad favoreció

intervenciones radicales como su entubamiento y su reconversión en vialidades (González *et al.*, 2010).

A lo largo del siglo XX, en muchas ciudades mediterráneas y europeas predominó la expansión urbana sin contención, el aumento de los residuos procedentes de actividades industriales, la explotación de los recursos del entorno fluvial como materia prima para la construcción y la agricultura o la planificación de infraestructuras lineales (viarias y ferroviarias) y de gran magnitud (puertos, aeropuertos) en las inmediaciones de los espacios fluviales, siendo el reflejo de una presión antrópica sin precedentes (Santassusagna y Tort, 2019).

Sin embargo, a mediados del siglo el interés por estos ecosistemas incrementó, desarrollándose estrategias para disminuir su deterioro. En algunos casos ha sido posible la rehabilitación del medio fluvial y, de forma complementaria, el aprovechamiento social de estos espacios a través de la conversión en zonas verdes y parques urbanos. Durante la década de los sesenta surgieron acciones encaminadas a la recuperación de la salud de ríos urbanos, siendo los Ríos Támesis, en Londres, y Sena, en París, los casos más notables de esta primera etapa. Las primeras acciones consistieron en descontaminar los ríos mediante el control y tratamiento de las descargas de aguas residuales. Esa misma época coincide con el auge de los movimientos ambientalistas, que dieron como resultado las primeras acciones recogidas por el concepto de Desarrollo Sustentable.

A lo largo de los años 1980 y 1990, diversas ciudades, principalmente las situadas en países desarrollados, implementaron planes y proyectos considerados modelos que integraban el medio urbano con la cuenca hidrográfica a la que pertenecían, sin embargo, los casos internacionales de éxito y la tendencia hacia el mejoramiento de las condiciones de los ríos urbanos no parecen haber encontrado suficiente eco en los esquemas de planificación urbana de México (Hernández-Tapia, 2017).

En México, partiendo de un entorno sociopolítico y económico delicado y complejo, la relación de la ciudad con los ríos urbanos suele ser inestable y contradictoria, evidenciando una situación insostenible desde el punto de vista ecológico, económico y

social. Tal es el caso del Lago de Texcoco, desecado en función de la expansión de la Ciudad de México; el Río Santa Lucía en Monterrey, cuyo rescate consistió en la construcción de un estanque navegable evocando el curso del río que permanece canalizado bajo el espejo de agua; el Río Atoyac, el gran contenedor de los residuos urbanos e industriales de la ciudad de Puebla y, en consecuencia, uno de los ríos más contaminados del país; o el Río Bravo, que de ser el gran articulador territorial del norte del país, ahora se erige como la barrera física y cultural en la frontera con Estados Unidos (Duran, 2014).

Situación actual de los ríos urbanos

México padece importantes problemas de agua de diversa índole: de infraestructura, conservación, financiamiento, contaminación, distribución, equidad en el acceso y gestión, además de enfrentar una alta vulnerabilidad por el cambio climático global (CEMDA *et al.*, 2006).

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2019) los ríos del país constituyen una red hidrográfica de 633, 000 km de longitud, donde destacan 51 ríos principales por los que fluye el 87% del escurrimiento superficial del país y cuyas cuencas cubren el 65% de la superficie nacional. Sin embargo, se estima que el 54% de las aguas negras se descargan en ríos o arroyos, y que el 74% de ríos, lagos y embalses mexicanos presentan algún grado de contaminación.

La gestión del agua en el país se orienta en satisfacer la demanda del recurso por parte de la población mediante la construcción de nueva infraestructura hidráulica, no obstante, esta visión técnica ha sido aplicada sin una perspectiva ecológica que considere la interacción del medio físico con el medio social (Lezama y Graizbord, 2010).

La política hídrica en México se plasma en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) y de manera específica en el Programa Nacional Hídrico (PNH), publicado en 1975. Junto con la Ley de Aguas Nacionales (LAN), dicho plan y programa se encuentran sujetos al artículo 27 constitucional, en el que se señala que las aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponden originalmente a la nación y que su uso o

aprovechamiento será a partir de concesiones o asignaciones autorizadas (Sandoval *et al.*, 2019).

Pese a que las políticas actuales se desarrollaron considerando diferentes enfoques, el estado actual de los cuerpos de agua muestra que, no han sido suficientes para revertir los procesos de degradación y garantizar el derecho humano al agua y su manejo sustentable.

Las principales amenazas y causas de degradación en los ríos urbanos han derivado de la mala planeación, diseño, gestión e integración de las ciudades con los recursos hídricos, infravalorando su importancia como fuentes de agua limpia, diversidad, paisaje, ejes de infraestructura verde, elementos de identidad por su historia, cultura, tradiciones y vivencias en relación con las actividades que se realizaban en el río (Polo-Ballinas, 2014). Las principales problemáticas incluyen: afectaciones a la disponibilidad y calidad del agua, invasión de las riberas por asentamientos urbanos, descargas de aguas residuales, canalización y soterramientos de los ríos para la construcción autopistas. Además, los ríos son usados como depósitos de basura, y debido a cambios de uso del suelo a favor del desarrollo urbano, se han perdido enormes cantidades de áreas de infiltración, compactación y deforestación de los suelos. Ocasionando también, la pérdida de biodiversidad y falta de interés en la preservación de los ríos por parte de las autoridades y la sociedad en general.

Numerosos estudios señalan al proceso de urbanización y la construcción de carreteras como la principal causa de degradación de las características estructurales y funcionales de los ambientes ribereños, seguido de la agricultura, ganadería y la actividad forestal (Bonvecchi *et al.*, 2014).

La vegetación ribereña en nuestro país se ha reducido y fragmentado debido a la deforestación de las riberas y su conversión a tierras para la agricultura, la cual causa alteración de los flujos hidrológicos naturales del río por el almacenamiento, canalización y derivación del agua para riego agrícola (Ortiz-Arrona *et al.*, 2008; Martínez-Rivera *et al.*,

2000), las tierras con bosques ribereño también se han convertido en pastizales para el ganado.

Asimismo, se han transformado por la urbanización al crearse poblaciones urbanas y rurales que habitan a lo largo de la cuenca, estas poblaciones generan contaminación química del agua por el vertido directo a ríos de aguas residuales sin tratamiento previo, así como vertidos industriales sin tratamiento o con tratamiento limitado.

No obstante, la importancia de la vegetación ribereña en el mantenimiento de la biodiversidad y en la generación de servicios ambientales es de gran interés para la sociedad, sin embargo, estas comunidades vegetales han sido relativamente poco estudiadas en nuestro país (Camacho-Rico *et al.*, 2006), desde un enfoque ecológico que genere información para un mejor entendimiento de su funcionamiento y dinámica (Ortiz-Arrona, 2008).

Marco legislativo y la vegetación riparia en México

En México, actualmente, no existe un marco legislativo diseñado para proteger y garantizar la conservación de los hábitats ribereños. Sin embargo, dichos ecosistemas están regulados bajo las siguientes leyes y normas mexicanas descritas a continuación.

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), regula la preservación y restauración de la cobertura vegetal original y establece los instrumentos de política ambiental relevantes para la conservación y restauración de los bosques ribereños.

Norma Oficial Mexicana NOM-060-SEMARNAT-1994, que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal.

Norma Oficial Mexicana NOM-062-ECOL-1994, que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos sobre la biodiversidad que se ocasionen por el cambio de uso del suelo de terrenos forestales a agropecuarios.

Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas. Considera a la vegetación riparia como un elemento clave para la determinación del caudal ecológico y determina que es necesario caracterizar la estructura, composición y distribución espacial vertical y temporal ribereña dentro como parte de la metodología.

Los instrumentos legislativos actuales denotan la falta de atención hacia los hábitats ribereños y evidencian la necesidad de generar leyes y normas creadas específicamente para su recuperación y conservación.

Mendoza-Cariño *et al.* (2014) proponen la formulación de una nueva Ley General de Aguas de México, que incluya el concepto “estado ecológico de los ríos” y que considere a la vegetación ribereña como un elemento clave para proteger, conservar y restaurar la salud de los ríos, haciendo especial énfasis en la conservación de la vegetación natural, en limitar las actividades y cambios de uso de suelo en zonas adyacentes, así como, mantener el ancho de la franja riparia y realizar levantamientos periódicos a fin de monitorear dichos ecosistemas.

El crecimiento de las ciudades del país, los problemas socioambientales resultantes de éste y el marco legislativo actual con carente reconocimiento, inspección y protección hacia los ríos y riberas mexicanas han propiciado una relación distante e inestable entre las ciudades y los ríos, ocasionando el deterioro de dichos ecosistemas y la pérdida de los servicios ecosistémicos que prestan a la sociedad.

Casos de estudio

A partir de la contextualización sobre los ríos urbanos y sus riberas, su importancia en las ciudades, las principales problemáticas que los envuelven y la carente información sobre la vegetación asociada a estos, se seleccionaron tres ríos mexicanos para conocer su estado ecológico actual, inventariar su flora y comprender cambios estructurales y de composición en dos tramos de cada afluente.

Río El Pueblito

La cuenca del Río El Pueblito se localiza en la zona sur-poniente del estado de Querétaro, en la Región Hidrológica número 12, denominada “Lerma-Chapala”. Es un afluente del Río Querétaro, que a su vez se conecta al Río Laja, afluente del Río Lerma (Figura 1).

El Río El Pueblito inicia en la cortina de la presa El Batán y desemboca en el Río Querétaro, en el sitio conocido como “Las Adjuntas”. Tiene una longitud de 16.50 km (CONCYTEQ, 2013). El clima de la zona es seco a semiseco. La temperatura media anual es de 18°C y la precipitación media es de 570 mm anuales, las lluvias se presentan en verano en los meses de junio a septiembre (INEGI, 2017).

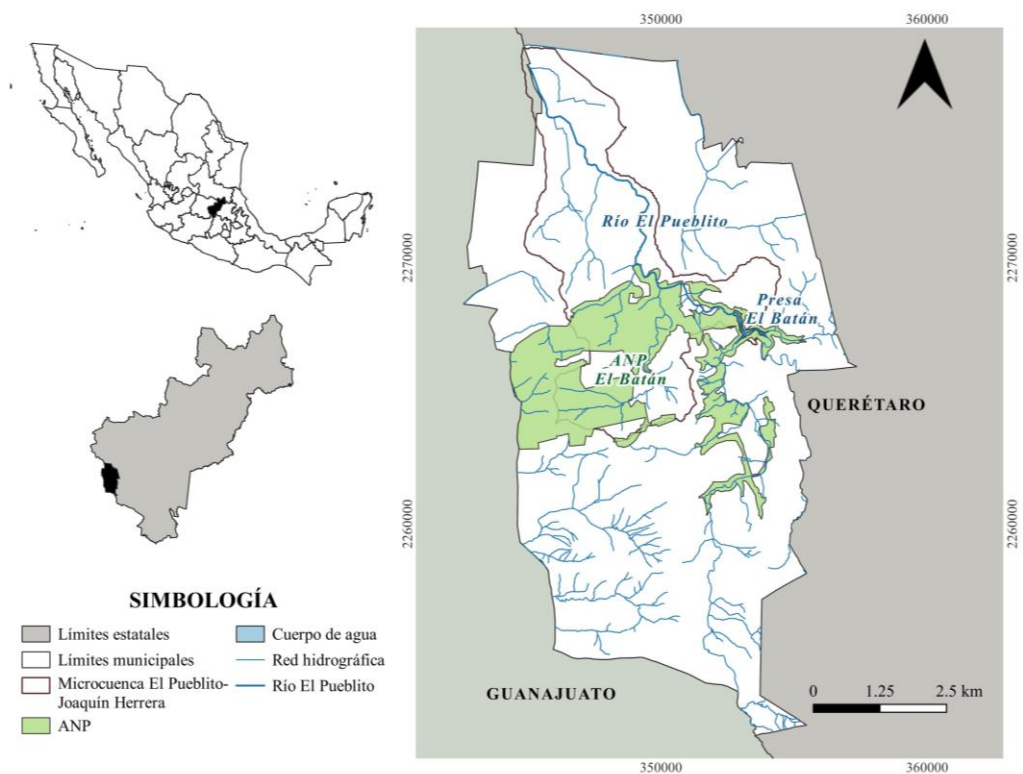


Figura 1. Localización del Río El Pueblito, Querétaro.

El proceso de urbanización dentro de la microcuenca El Pueblito-Joaquín Herrera, en el estado de Querétaro comienza entre los años 1985 y 2000 (Mariscal de Souza, 2019). En esta época se da la pavimentación de la cabecera municipal, la urbanización de las colonias Santa Bárbara y La Negreta y se construyen el rastro municipal y la presa el Batán (Municipio de Corregidora, 2015). El crecimiento urbano trae consigo la rectificación del río desde el puente de la Negreta hasta la calle San Isidro, obra que concluye en el año 1997, y que fue ampliada en el año 2016 con la construcción del paseo Río Pueblito (Municipio de Corregidora, 2015; Gobierno del Estado de Querétaro, 2016).

La urbanización dentro de la microcuenca ha presenciado un incremento exponencial debido a la cercanía con la ciudad de Querétaro, provocando la pérdida de áreas de infiltración, modificación del canal mediante la construcción de obras hidráulicas y carreteras, introducción de especies invasoras y aumento de descargas residuales provenientes de desarrollos urbanos.

El interés por dar un manejo al río que permitiera el mantenimiento de su funcionalidad se da en el año 2004 con la constitución del Patronato para el rescate, conservación y preservación del cauce y del entorno del Río Pueblito (PRP), el cual tiene como finalidad la protección ambiental, hidrológica, hidráulica del río desde su salida de la presa El Batán hasta la autopista Querétaro-Celaya (CONCYTEC, 2013).

En el año 2008, tras un estudio de la tesista Benita Luna, se comienza el proyecto de saneamiento del Río Pueblito. Para el año 2015, el proyecto había logrado el mejoramiento de la calidad de agua, recuperación de la vegetación de riberas y el restablecimiento del cangrejo de barrancas (*Pseudotelphusa dugesii*) y la tortuga casquito (*Kinosternon integrum*) (CONCYTEC, 2013). Otra acción relacionada con la conservación del río se da en el 2013, año en que se decreta el área natural protegida “El Batán”, con la finalidad de manejar de manera sustentable los recursos naturales y mantener su funcionamiento ecológico (Municipio de Corregidora, 2015). En el año 2018, el manejo del río incluye acciones de conservación y mitigación en el ANP “El Batán”.

Respecto a la caracterización de la vegetación destaca el estudio realizado por Mora-Hernández y Martínez y Díaz de Salas (2009) reportando la presencia de 30 especies, distribuidas en 16 familias y 22 géneros, predominando *Salix bonplandiana*, *S. humboldtiana* y *Fraxinus uhdei* en el estrato arbóreo, y *Heimia salicifolia* y *Baccharis salicifolia* en el estrato arbustivo como las especies más representativas.

Río Paisanos

El Río Paisanos pertenece a la región hidrológica El Salado. El 54.2 % de esta región se encuentra en el Estado de San Luis Potosí y se caracteriza por contener una serie de cuencas cerradas sin grandes corrientes superficiales. Específicamente, el Río Paisanos se ubican en la cuenca Presa San José-Los Pilares, enclavada en una topografía serrana con un gran número de corrientes superficiales intermitentes (INEGI, 2010) (Figura 2).

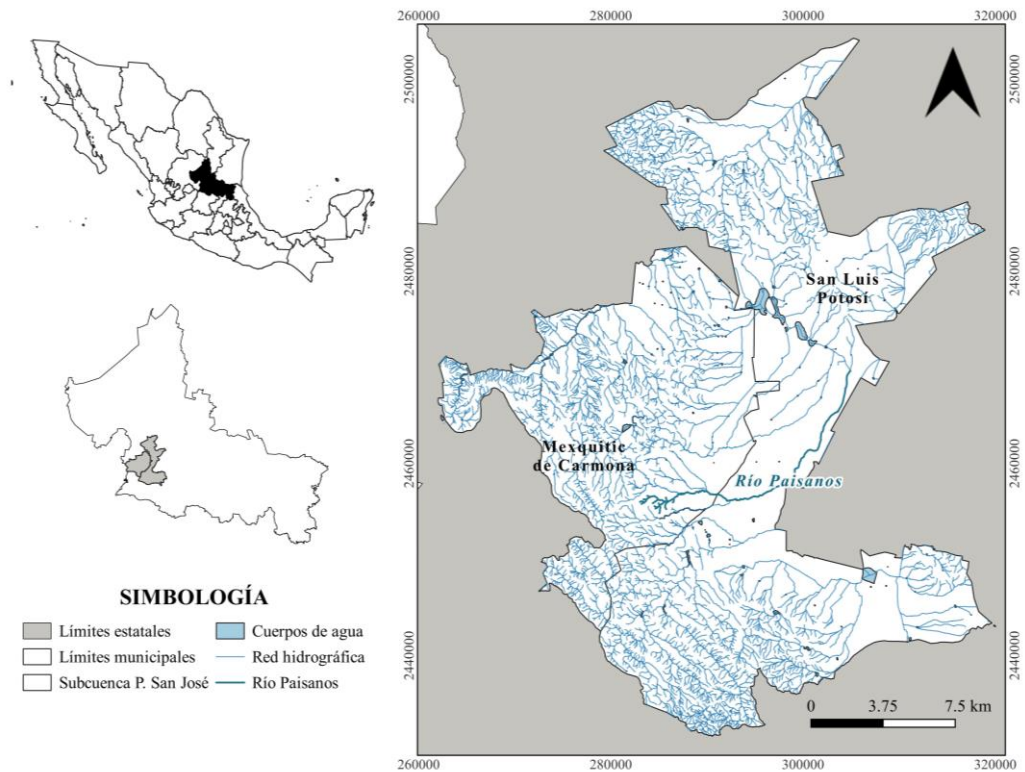


Figura 2. Localización del Río Paisanos, San Luis Potosí.

El río nace en la comunidad de Paisanos en Mexquitic y llega a la capital potosina desde el norte de la ciudad. Río arriba, al este, el cauce es alimentado por 5 afluentes tributarios, cuya altitud y extensión máxima es de 2,478 msnm y 38 km respectivamente, y confluyen en la intersección del río con la carretera Zacatecas. La parte intermedia del río, tiene una longitud de 8.72 km. Su cauce recorre 14 colonias de la entidad (López-Mares *et al.*, 2019). El clima predominante en esta región nos indica que la temperatura media anual es de 16° a 22°C y la precipitación total anual registrada es de 500 mm en el norte de la cuenca y de 200 mm en la parte sur de la misma. El rango de escurrimiento es menor de 10 mm (INEGI, 2002).

Durante el proceso de urbanización ocurrido entre 1960 y 2000, la ciudad de San Luis Potosí experimentó un gran incremento poblacional en su zona metropolitana, transformando no solo el territorio sino también el manejo de sus recursos hídricos (Peña, 2013). La alta demanda y extracción del agua superficiales y profundas ha favorecido el agotamiento de los recursos hídricos del manto freático. En esta región, el Río Paisanos es el único cauce superficial con cierto estado natural, aunque el volumen y altura del agua fluctúan en distintos sitios a lo largo del mismo, además de existir varias zonas donde su cauce se ha desviado o presenta diques construidos. Además de tales transformaciones, el lecho y bordes del río se encuentran degradados y contaminados. Los desechos industriales, la invasión por asentamientos no regulados, las descargas directas de drenajes domésticos y zonas de tiraderos de desechos sólidos son algunas causas de la contaminación localizada en varios ríos urbanos de México (Polo Ballinas, 2014), incluido el Río Paisanos (Ramos-Palacios *et al.*, 2021).

El Río Paisanos nace a partir de la confluencia de tres corrientes de agua intermitentes conocidos como la Campana, el Paraíso y Clavellinas, este último formado por corrientes provenientes de la Sierra de San Miguelito (Gómez-Monreal, 2019). El acuífero al que pertenecen tales corrientes es el Salado, el cual se encuentra sobreexplotado con un déficit entre extracción y recarga de 74.3 millones de metros cúbicos por año (CONAGUA, 2019). Su ubicación ha facilitado su preservación; sin embargo, la presión

urbana sobre éste se ha incrementado gradualmente y ha favorecido su contaminación y su degradación ecológica (Gómez-Monreal y López-Mares, 2021).

Actualmente el río atraviesa un mosaico de paisajes de características rurales aguas arriba y urbanas en medio y aguas abajo. Desde su nacimiento hasta el cruce con la carretera a Zacatecas el río recorre 38 km de campos agrícolas y asentamientos rurales. La parte media del río, de cerca de 8 km de longitud, se encuentra enclavada en una zona periurbana fragmentada que incluye asentamientos rur-urbanos, desarrollos de vivienda social y asentamientos irregulares. Este tramo culmina donde el río fue desviado 90° para facilitar la construcción de la vía férrea México-Laredo y surtir en campos agrícolas. Después, el río retoma su cauce y finalmente desemboca en las lagunas de infiltración del Palmarito, Arenas y Cerro Prieto (López-Mares *et al.*, 2019).

A lo largo de su cauce se encuentran manchones densos de vegetación en zonas con agua subterránea y otros menos compactos con especies de clima seco. Además, el río atraviesa una zona urbana catalogada como densa, con índices altos y medios de marginación y con una deficiencia de espacios verdes (Gómez y López, 2021). De acuerdo a Ramos *et al.* (2021) la vegetación riparia asociada al río se compone por las siguientes especies *Barkleyanthus salicifolius*, *Prunus serotina*, *Salix* sp., *Eucalyptus* sp., *Schinus molle*, *Acacia* sp., *Prosopis laevigata*, *Opuntia* sp., y *Marginatocereus marginato*.

Río Atoyac

El Río Atoyac pertenece a la subcuenca del Alto Atoyac (DOF, 2010). Se origina de los deshielos del volcán Iztaccíhuatl, en el estado de Puebla, a una altitud de 3,250 msnm, tiene una longitud de 84.97 km, una sección transversal entre los 15 y 60 m, y una profundidad de 1 a 3 m. En su descenso, la corriente pasa por los estados de Puebla, Tlaxcala y nuevamente por Puebla donde se embalsa en la presa de Valsequillo (Martínez *et al.*, 2017, Declaratoria del río, 2011) (Figura 3). El clima de la región es templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual y la precipitación son de 17.2°C y 969.1 mm y las lluvias se incrementan entre junio y octubre (INEGI, 2016).

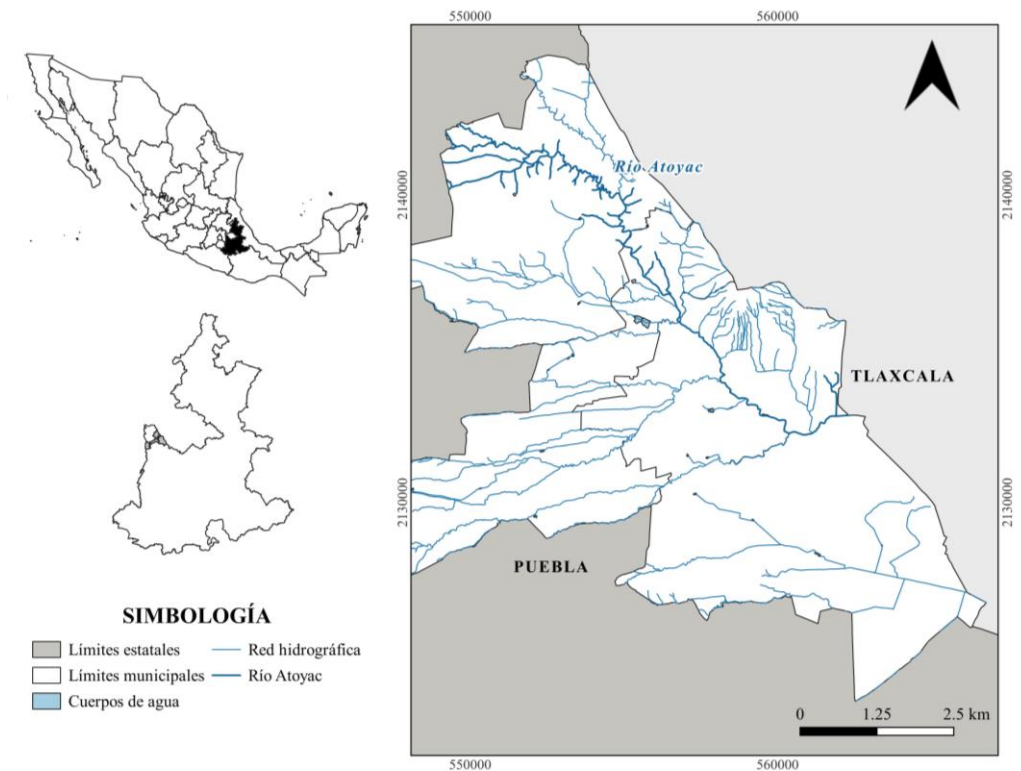


Figura 3. Localización del Río Atoyac, Puebla.

La cuenca del Río Atoyac tiene una extensión de 4,395 km², rodeada por los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl al poniente, y por La Malinche al oriente, cuyas aguas continentales la alimentan, también por el Río Zahuapan desde la sierra de Tlaxco al norte (Martínez-Tavera *et al.*, 2017). Castro-González *et al.* (2019) señalan que los Ríos Atoyac y Zahuapan, así como la presa Manuel Ávila Camacho (canal de Valsequillo) recibieron desde finales del siglo XX vertidos de la industria textil, petroquímica, automotriz, metalmecánica, química y de la construcción, lo que contribuyó a la acumulación de metales pesados en los suelos agrícolas que son irrigados con estas aguas.

La intensa actividad económica del estado, su importante concentración poblacional, grado de urbanización y nivel de vida alcanzado por importantes sectores de la sociedad, son causas importantes del incremento de los volúmenes de descargas urbanas, industriales y agrícolas vertidas, directa o indirectamente, a los cuerpos de agua superficiales ubicados en la cuenca. A su vez han provocado una incontenible disminución

de los servicios ecosistémicos que presta al estado de Puebla. Ocasionalmente una alarmante amenaza que pone en riesgo la sustentabilidad del sistema ambiental urbano-rural, atenta contra la salud y la calidad de vida de los habitantes e influye negativamente en la competitividad del municipio en el contexto regional, nacional y global.

De acuerdo al Plan rector de saneamiento del Río Atoyac (2017-2030) a lo largo del río existe un número no determinado de descargas de aguas residuales que hasta el momento no están debidamente ubicadas ni cuantificadas según la calidad de sus componentes, por lo que existen múltiples comunidades humanas expuestas a una mezcla altamente tóxica de contaminantes (Gobierno Constitucional del estado de Puebla, 2018). Este impacto sobre la salud humana no ha sido debidamente investigado, por lo que hasta ahora se desconoce la magnitud y gravedad.

En un artículo del Universal en línea titulado “Contaminan el Río Atoyac 400 empresas” informa que se tiene estimado que alrededor de 400 empresas asentadas en la franja limítrofe entre Puebla y Tlaxcala descargan aguas contaminadas al Río Atoyac y que el control de estos lugares es complejo pues algunas no son empresas constituidas.

Respecto al saneamiento del río o propuestas de soluciones, Casiano, Bressers y Gleason (2017) señalan que en Puebla y Tlaxcala no existe un capital ni participación social en la implementación de políticas públicas que rijan las plantas de tratamiento de aguas residuales en ambos estados, son dependientes de periodos gubernamentales y la politización impide alcanzar su finalidad. La gestión ineficiente y riesgosa del agua en la cuenca no se limita a contaminación, también enfrenta escasez de agua y desabasto (Rosete-Ramírez *et al.*, 2019). Soto-Montes de Oca y Ramírez-Fuentes (2019) señalan que la participación de los usuarios del agua es fundamental para resolver el problema de su contaminación, pero que actualmente las autoridades han mantenido un mínimo y errático sistema de comunicación con la población sobre el tema. A pesar de la situación de la cuenca, Pérez-Castresana *et al.* (2018) indican que no existen estudios específicos acerca del riesgo de enfermedades en la región del Alto-Atoyac debido a la exposición de metales pesados en el agua subterránea, fuente principal de abastecimiento en la zona metropolitana de Puebla.

En el año 2016 el Ayuntamiento de Puebla (2016-2018) creó el Comité ¡Vive Atoyac!, instancia en la que se encuentran representadas autoridades de los tres niveles de gobierno, organismos empresariales, organizaciones ciudadanas y las instituciones educativas, con la intención de conciliar un plan de estrategias para el rescate del Río Atoyac. Sin embargo, es necesario implementar estrategias multidisciplinarias enfocadas en mejorar la calidad del agua y rehabilitar las condiciones hidro-sociales del río.

A la fecha, no hay estudios sobre la estructura y composición de la vegetación del Río Atoyac, sin embargo, Bonilla-Guzmán (2022) menciona la presencia de 500 especies de plantas asociadas este en la zona metropolitana de Puebla. Y, Aguilar-Luna (2018) reporta las siguientes especies: *Alnus acuminata*, *Platanus mexicana*, *Ligustrum lucidum*, *Pinus patula*, *Quercus rugosa* y *Parathesis serrulata* en el Río Xaltatempa, en el estado de Puebla.

IV. MARCO TEÓRICO

Existen diferentes conceptos para describir a las comunidades vegetales objeto de esta investigación, los cuales varían de acuerdo al autor y ubicación del estudio, asimismo, estas definiciones provienen de las palabras en latín *galilæa* (claustro, corredor o camino) y *ripa* (orilla o ribera). Describiendo corredores de vegetación que se desarrollan en las orillas de los cuerpos de agua (ríos, lagos, riachuelos, estanques o zonas húmedas).

Bosque de galería o vegetación ribereña

A lo largo de los márgenes de los ríos se encuentran franjas angostas de vegetación que pueden definirse como la interfase entre los ecosistemas acuáticos y terrestres (Granados *et al.*, 2006). A estas comunidades vegetales se les denominan vegetación ribereña, riparia o bosque de galería.

Los bosques de galería o bosques riparios son formaciones boscosas que se ubican en los márgenes de quebradas, ríos, arroyos, lagunas, lagos y humedales (Naiman, Décamps y McClain, 2005).

Osborne y Kovacic (1993) definen la vegetación ribereña como la zona que vincula el ecosistema acuático con su cuenca de drenaje y que presenta gradientes de condiciones biofísicas, procesos ecológicos y biota asociada, y por su ubicación influye en la estructura de las comunidades acuáticas y terrestres asociadas (Solís-Garcés, 2018).

Rzedowski (1978) define la vegetación ribereña como el conjunto de vegetación muy heterogénea que se desarrolla a lo largo de corrientes de agua permanentes o semipermanentes, que comprende árboles de hoja perenne, decidua o parcialmente decidua, con alturas de 4 a más de 40 m. Los géneros dominantes de árboles riparios en México incluyen *Platanus*, *Populus*, *Salix*, *Taxodium*, *Inga*, *Pachira*, *Acer*, *Alnus*, *Carya* y *Fraxinus*.

CONABIO (2011) menciona las siguientes especies características del bosque de galería del estado de Veracruz: *Salix humboldtiana*, *Astianthus viminalis*, *Ceiba pentandra*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Inga vera* y *Pachira aquatica* en el estrato arbóreo, *Alypha diversifolia*, *Lindenia rivalis*, *Nectandra sanguinea*, *Piper nudum*, *Pluchea salicifolia* y *Salix taxifolia* en el arbustivo, y por último, *Cuphea decandra*, *Cuphea salicifolia*, *Cyperus involucratus*, *Equisetum myriochaetum* y *Pavonia schiedeana* en el herbáceo (Solís-Garcés, 2018).

Sin embargo, a la fecha, en México no existe un sistema de clasificación de estas comunidades que permita homogenizar los estudios realizados, a fin de generar listados florísticos por regiones y desarrollar estudios con el propósito de evaluar, comparar e intervenir los distintos bosques riparios del país.

Estructura y composición vegetal del bosque de galería

En la vegetación riparia, es posible observar cambios en función al río. En las orillas de los tramos altos predominan herbáceas y arbustos flexibles, tolerantes a suelos poco profundos y a la torrencialidad del río. Mientras que, en las partes medias y altas destacan bosques bien desarrollados formados principalmente por árboles en las que el paisaje fluvial se amplía, formándose llanuras aluviales. Aumentando considerablemente la complejidad y riqueza de los bosques riparios.

Tales cambios en la vegetación se pueden producir rápidamente o de forma gradual, pero en general, el agua propicia cierta inercia ecológica, por lo que estos cambios se realizan más lentamente que en las laderas adyacentes. De esta manera, pueden mantenerse durante un largo tramo las mismas comunidades en las riberas, con cambios florísticos que no tienen repercusiones fisonómicas, mientras se producen sustituciones más o menos drásticas en la vegetación climatófila con la que tiene contacto la ribera (Garilleti, 2012.).

La estructura se refiere a la distribución del componente vegetal, tanto en el plano horizontal como en el vertical. Básicamente, la estructura horizontal está dada por la distribución dasométrica; así como por la abundancia, frecuencia y dominancia (Finegan, 1992).

De acuerdo a Garilleti (2012) es posible identificar bandas de vegetación, definidas por el dominio de distintas especies asociadas a la disponibilidad del recurso hídrico. La primera se encuentra en contacto directo con el agua, formada por especies con mayores requerimientos hídricos y tolerantes a crecidas del río. Predominan arbustos flexibles y con gran capacidad de regeneración, principalmente sauces. Detrás de ésta se halla la segunda banda, formada típicamente por árboles. En los tramos medios o bajos de los ríos el efecto de las avenidas no es siempre tan drástico y regular, la velocidad del agua es menor y los árboles pueden llegar hasta las orillas y los arbustos se ven limitados a zonas donde el bosque está degradado o, puntualmente, poco desarrollado.

Mientras que, la estructura vertical está determinada por la distribución de distintas especies arbóreas que forman un ecosistema y dominan sitios definidos en respuesta a los factores micro-climáticos, gradientes ambientales o al disturbio natural o antrópico (Ramos-Reyes *et al*, 2017). Según Garilleti (2012) varía en función a la altura de las especies leñosas y al desarrollo de los siguientes estratos:

- Arbóreo. Formado por árboles de gran altura, dominado generalmente por una sola especie. Los árboles se hallan distanciados entre sí y poseen copas densas y extensas, proporcionando sombra a estratos inferiores. Destacando los siguientes

géneros en México *Platanus*, *Populus*, *Salix*, *Taxodium*, *Inga*, *Pachira*, *Acer*, *Alnus*, *Carya* y *Fraxinus* (Rzedowski, 1986).

- Arborecente. Formado por árboles de porte medio. Principalmente individuos jóvenes del estrato arbóreo.
- Arbustivo. Se caracteriza por individuos de hasta 5 m de altura que se distribuyen en los claros y bordes del bosque, pues poseen mayor necesidad hídrica, los géneros más comunes en México incluyen a *Acacia*, *Aeschynomene*, *Baccharis*, *Brickellia*, *Cephalanthus*, *Dalbergia*, *Heimia*, *Hibiscus*, *Hydrolea*, *Hymenoclea*, *Lindenia*, *Mimosa*, *Piper*, *Pluchea* y *Solanum* (Rzedowski, 1986).
- Herbáceo. Constituyen la zona interior del bosque, constituido por una formación vegetal densa y una riqueza de especies amplia. Destacan diversos helechos, gramíneas y plantas bulbosas.
- Epifítico. Presente en bosques maduros, compuesto por lianas, líquenes, musgos y helechos. Usualmente se desarrollan en las copas de los árboles.

La composición describe al número de familias, géneros y especies que se registran dentro del área de estudio al momento de realizar un inventario. Los componentes que se consideran para complementar mejor la información acerca de la composición se enfocan en la diversidad, riqueza de especies y la similitud de la especie (Louman *et al.*, 2001).

En las ciudades, es común encontrar diferencias en cuanto a la composición, estructura y riqueza de las comunidades vegetales riparias (Schwoertzig *et al.*, 2016; Kuglerová *et al.*, 2019). En cuanto a la composición vegetal, según Grella *et al.* (2018) en zonas urbanas predominan especies introducidas, en zonas periurbanas, se registran nativas e introducidas y en las zonas naturales, las especies nativas son dominantes. De acuerdo con Cao y Natuhara (2020), la riqueza de especies aumenta con el incremento de la urbanización. Mientras que, estructuralmente el área basal promedio, la altura total promedio y el porcentaje del sotobosque y dosel, disminuyen con el incremento de la urbanización, debido a la remoción de especies leñosas y cambio de uso de suelo (Zermeño-Hernández *et al.*, 2020).

Servicios ecosistémicos del bosque de galería

La vegetación cumple un papel fundamental en los ecosistemas riparios. Las múltiples funciones que realiza guardan una relación directa con la conectividad longitudinal y transversal del medio ripario, reflejada por los complejos ciclos biogeoquímicos que se producen en él (Magdaleno Mas, 2013). La conectividad es considerada como un atributo capaz de describir los patrones de la cobertura vegetal en un paisaje determinado, ya que estudia las características del mosaico territorial, su relación con los procesos ecológicos y las implicaciones de la acción humana sobre la integridad ecológica del territorio (Correa-Ayram, 2008).

Dentro de los servicios ecosistémicos que brinda destacan que favorece la infiltración del agua, disminuye la erosión de las orillas de los ríos y reduce las escorrentías superficiales, aumentando la recarga del manto freático, disminuye el riesgo de inundaciones río abajo, mejora la calidad del agua de los ríos al actuar como filtro y contribuye a la conservación de la biodiversidad, tanto de especies terrestres como acuáticas (Granados *et al.*, 2006) y son considerados el soporte de complejas redes tróficas y la generación de corredores ecológicos que permiten la conectividad con otras comunidades vegetales (Romero *et al.*, 2014).

Por otro lado, por su carácter de buffer biológico reducen la conexión entre la fuente terrestre de contaminación potencial y el cuerpo de agua receptor, sirviendo como barrera física natural contra la entrada de contaminación directa (Carothers, 1977; Lowrance *et al.*, 2001).

También, brindan diversos servicios al ser humano, tanto a nivel individual como social, ofreciendo valores estéticos, recreativos y culturales, en relación a su topografía, el relieve, los tipos de vegetación, las características de la red de drenaje, o los usos y costumbres humanas. Distintos atributos de la vegetación de ribera, como su belleza, los juegos de claroscuros, el intimismo de los espacios que crea, o la cercanía con las especies vegetales son cada vez más atractivas para la sociedad (Magdaleno Mas, 2013), incrementándose el desarrollo de actividades deportivas y de esparcimiento en estas áreas.

Por todo esto, a este tipo de vegetación se le puede atribuir un valor incalculable, y se reitera la importancia de conservar y recuperar los componentes que integran estos ecosistemas y disfrutar de los múltiples beneficios que nos brindan.

Metodologías para evaluar la calidad de las riberas

Son pocas las propuestas metodológicas que se emplean para estimar la condición de la vegetación ribereña utilizando índices de fácil manejo y rápida aplicación (Suárez y Vidal-Abarca, 2000). La mayoría de los índices de evaluación de la calidad de las riberas se basan en propiedades químicas del agua, complejidad y grado de cobertura vegetal, comunidades biológicas (peces, macroinvertebrados, mariposas y aves) y características geomórficas (Raven *et al.*, 1996). Otros consideran el grado de perturbación antrópica y la pérdida de funciones y servicios ecosistémicos del espacio ribereño (De Cabo *et al.*, 2020).

Entre las metodologías basadas en la cubierta vegetal podemos citar el Índice de calidad del bosque de Ribera (QBR) (Munné *et al.*, 1998; 2003) basado en la calidad, estructura, cobertura de la vegetación y alteración del cauce; el VRRRA propuesto por Winward (2000) que evalúa la salud de las riberas con base en la composición, estructura y regeneración vegetal; la Evaluación visual de salud ribereña (Ward *et al.*, 2003) basada en la condición del canal, la estabilidad de las orillas, vegetación riparia, macroinvertebrados y velocidad del agua; la Valoración rápida de la condición ribereña tropical (Dixon *et al.*, 2005) que valora la zona ribereña en función a restos leñosos, malezas, regeneración vegetal y disturbios, la Evaluación rápida de la condición ribereña (RARC) (Jansen *et al.*, 2007) que determina la condición ecológica a partir de las características físicas y del paisaje (conectividad, extensión, estructura, dominancia de especies, árboles caídos y presencia de hojarasca). Y finalmente, el Índice de calidad ecológica de las riberas (RQI) (González del Tánago y García de Jalón, 2006) que evalúa el estado ecológico de las zonas ribereñas y brinda opciones de manejo basadas en su dimensión, conectividad longitudinal y lateral, condición de la orilla, estructura del sustrato, estructura y regeneración natural de la vegetación.

De acuerdo con las definiciones abordadas en relación a los ríos, la comprensión de los servicios que prestan y las metodologías existentes para evaluarlos, se establecieron los siguientes objetivos.

V. OBJETIVOS

Objetivo general

1. Evaluar la estructura y composición de la vegetación y su relación con la calidad de las riberas de tres ríos urbanos de México.

Objetivos particulares

- 1.1 Determinar la estructura y composición vegetal en tramos con diferente influencia antrópica.
- 1.2 Conocer la calidad de las riberas de los tramos con influencia antrópica (urbanos) y de los tramos mejor conservados (naturales).
- 1.3 Identificar cambios en la vegetación en relación al proceso de urbanización de cada río.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Los ríos El pueblito, Paisanos y Atoyac constituyen unidades idóneas para el análisis de las transformaciones de sus componentes vegetales, como resultado del inadecuado manejo de los recursos del agua, suelo y vegetación en los últimos años, cuya prioridad ha sido el crecimiento urbano, agrícola e industrial.

Se seleccionaron seis tramos en total, dos en cada afluente, con base en su accesibilidad, conocimiento previo de las zonas y representatividad de cada uno al poseer las características necesarias para facilitar su evaluación y comparación. Las coordenadas de los tramos muestreados se muestran en el cuadro 1. A continuación, se describen cada uno de los sitios seleccionados.

Cuadro 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo

| | Tramo | Altitud | Coordenadas geográficas | |
|--------------------|-------|---------|-------------------------|-------------|
| | | | Latitud N | Longitud O |
| El Pueblito | TNPu | 1,920 | 20.515463 | -100.444831 |
| | TUPu | 1,817 | 20.550142 | -100.455863 |
| Paisanos | TNPa | 1,917 | 22.203958 | -101.049919 |
| | TUPa | 1,875 | 22.200257 | -100.998462 |
| Atoyac | TNA | 2,386 | 19.368499 | -98.517712 |
| | TUA | 2,227 | 19.288186 | -98.409791 |

Tramo natural El Pueblito (TNPu): El Batán, Tramo urbano El Pueblito (TUPu): Col. Las Flores, Tramo natural Paisanos (TNPa): Mexquitic de Carmona, Tramo urbano Paisanos (TUPa): Av. del Sauce, Tramo natural Atoyac (TNA): San Matías Tlalancaleca, Tramo urbano Atoyac (TUA): San Martín Texmelucan.

1. Tramo natural El Pueblito (TNPu)

Ubicado en el área natural protegida El Batán en el municipio de Corregidora del estado de Querétaro, debajo del Camino a la Joya (Figura 4). Tiene una altitud de 1,920 m.s.n.m. y se caracteriza por ser un área destinada al deporte y esparcimiento, la vegetación se desarrolla a modo corredor arbóreo, y arbustos y hierbas en los estratos bajos. A escasos 500 m se ubican las colonias Santa Bárbara 1ra Secc. y 2da Secc.

2. Tramo urbano El Pueblito (TUPu)

Se localiza debajo del camino de terracería s/n, a aproximadamente 260 m del Rastro municipal, en la Col. Las Flores, en el municipio de Corregidora del estado de Querétaro. Tiene una altitud de 1,817 m.s.n.m. El sitio funge como depósito de desechos urbanos, siendo visibles las descargas de aguas negras y basura en todo el tramo, observándose disminución en la vegetación riparia. La zona se encuentra rodeado por predios agrícolas y fraccionamientos en desarrollo.

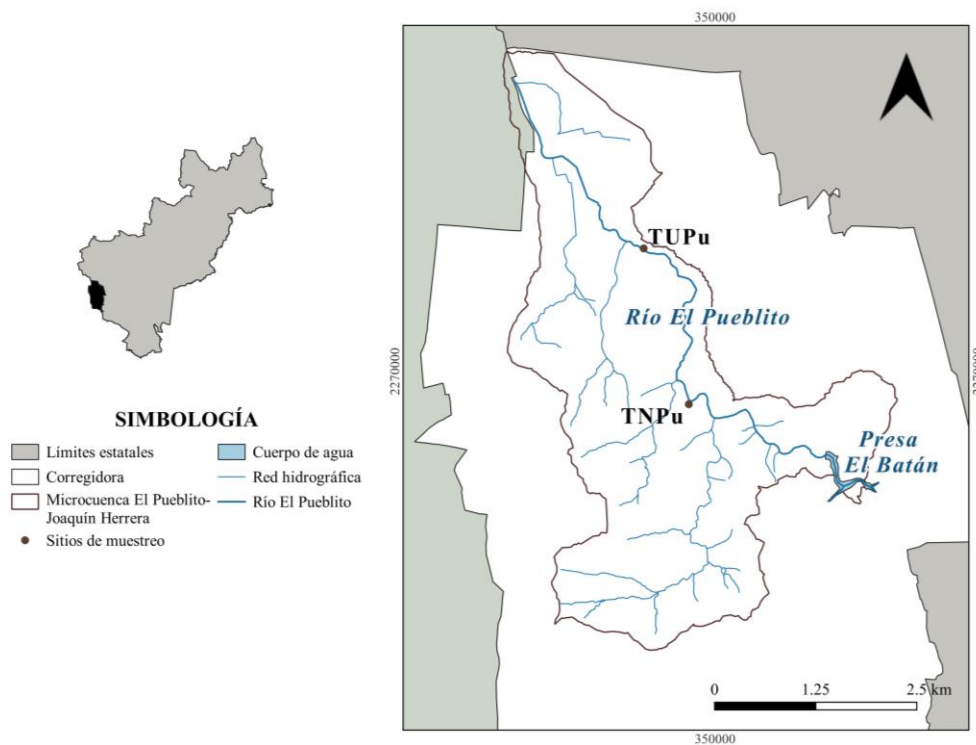


Figura 4. Ubicación de los sitios de muestreo del Río El Pueblito.

3. Tramo natural Paisanos (TNPa)

Ubicado debajo de la Av. Jaralito (Figura 5), a unos 10 km del centro histórico de San Luis Potosí. Tiene una altitud de 1,917 m.s.n.m. Es un área poco concurrida, por lo que, posee buen estado de conservación, sin embargo, el río es interrumpido por una represa. A lo largo de tramo se desarrolla un corredor continuo de vegetación con predominio de árboles típicamente riparios. Cerca del tramo se ubican predios agrícolas y algunas viviendas.

4. Tramo urbano Paisanos (TUPa)

Localizado debajo de Av. Del Sauce, esquina con Blvd. Río Paisanos en la Col. María Cecilia 3da Sección, a aproximadamente 7.7 km del centro histórico de San Luis Potosí. Tiene 1,875 m.s.n.m. de altitud. El tramo se encuentra inmerso en una zona urbana, rodeado de viviendas, parques urbanos y avenidas muy transitadas. Siendo visible la pérdida de vegetación y el vertido de desechos urbanos y aguas negras directamente sobre el río y sus riberas.

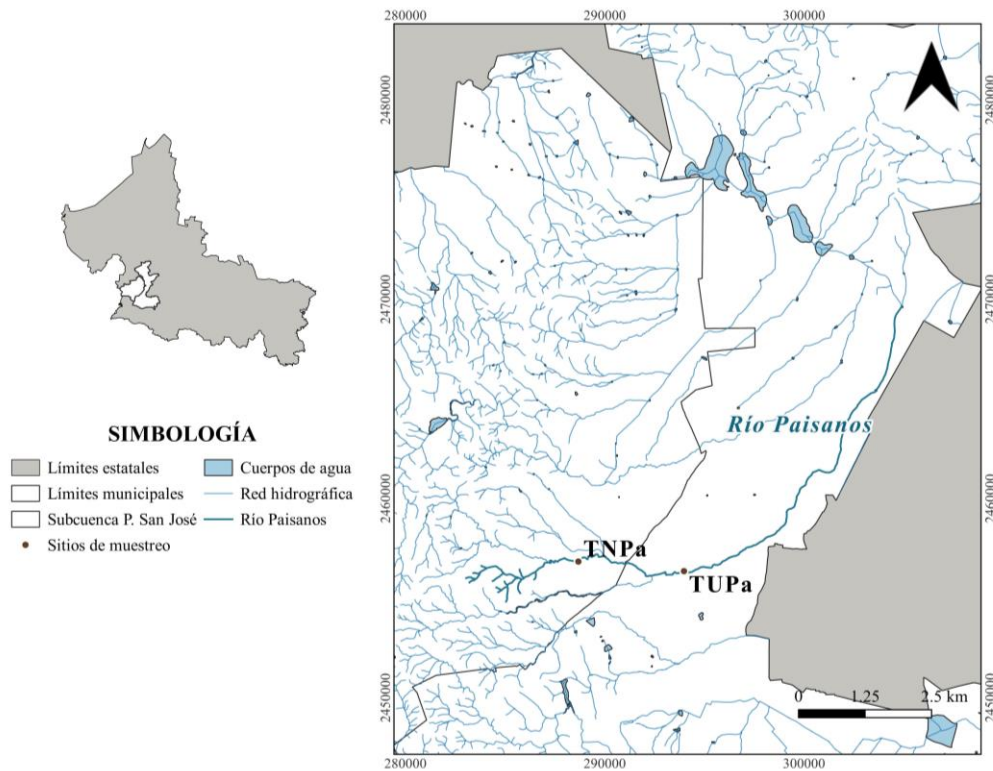


Figura 5. Ubicación de los sitios de muestreo del Río Paisanos.

5. Tramo natural Atoyac (TNA)

Ubicado debajo del camino de terracería s/n, a unos 200 m de la Ex Hacienda Molino de Guadalupe (Figura 6). Tiene una altitud de 2,386 m.s.n.m. El sitio se encuentra próximo a algunas viviendas, sin embargo, posee buen estado de conservación, observándose un corredor continuo de árboles y diversas especies de plantas en los estratos inferiores.

6. Tramo urbano Atoyac (TUA)

Se localiza en los límites estatales de Puebla y Tlaxcala. Debajo del Camino de terracería Camino real a escasos 50 m de la Autopista Arco norte. Tiene 2,227 m.s.n.m. de altitud. El lugar se encuentra rodeado por campos agrícolas y algunas viviendas, siendo evidente las transformaciones en el río y la vegetación en los últimos años. Es posible observar cambios de color en el agua, resultado de las descargas industriales, agrícolas y domésticas de la zona, así como pocos árboles y el predominio de la higuera.

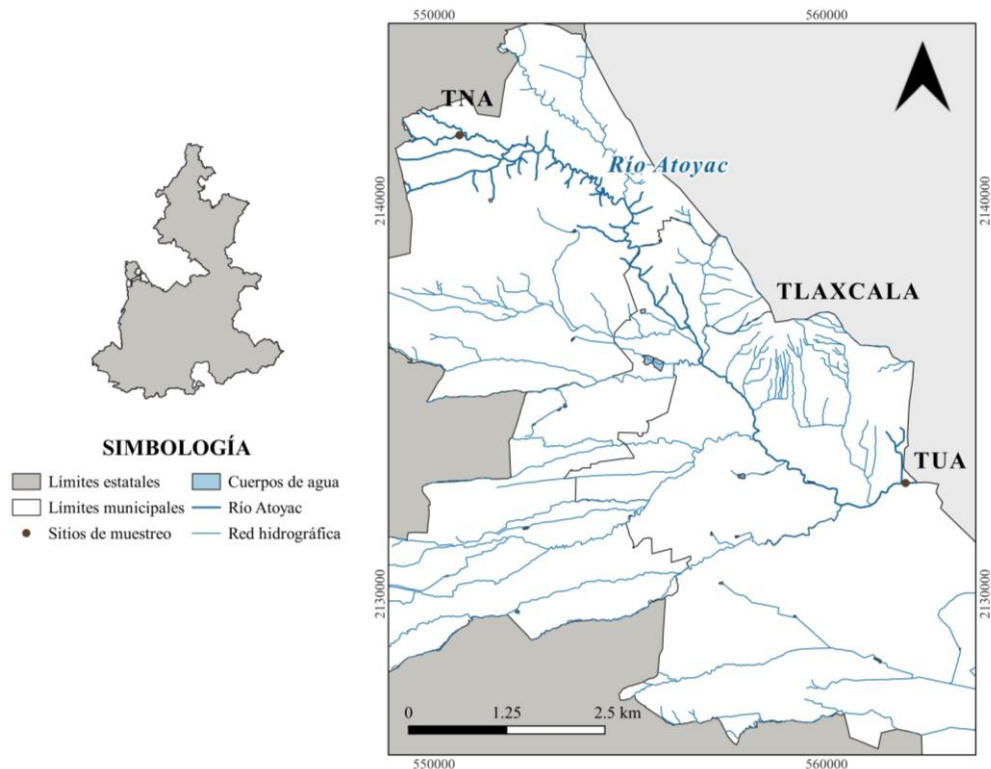


Figura 6. Ubicación de los sitios de muestreo del Río Atoyac.

Muestreo de la vegetación

Se llevaron a cabo dos visitas de campo, la primera durante la estación seca (mayo-junio) y la segunda en época de lluvias (septiembre-octubre). Se seleccionaron dos tramos en cada río, el primero se eligió con base en que visualmente mostraba un mejor estado de conservación, mayor riqueza florística, diversidad en la estructura de edades y presencia de especies nativas como referencia, mientras que, el segundo reflejaba mayor impacto antrópico visible, lo cual facilitó las comparaciones entre ambos y la comprensión de la modificación antrópica de cada río.

Para determinar el área de los transectos se empleó una curva-especie, para ello se muestrearon unidades contiguas de extensión progresivamente mayor y se registraron las especies encontradas hasta definir el área que albergó el 80% de las especies halladas (Graf y Sayagués, 2000).

En cada tramo se establecieron cuatro transectos de 100 m² (10 x 10 m), perpendiculares al cauce del río, dos en cada margen. Asimismo, se tomaron datos de georreferencia, altitud sobre el nivel del mar, ancho y profundidad del cauce.

En cada transecto se registraron todos los individuos de porte arbóreo y arbustivo con un diámetro a la altura de pecho (1.30 m) ≥ 10 cm. Las variables evaluadas fueron altura (h), diámetro del tronco y los diámetros mayor y menor de las copas. La evaluación de las especies herbáceas se efectuó mediante el establecimiento de un cuadrante de 1 m² (1 x 1 m), asignando por medio de estimación visual el porcentaje de cobertura de cada especie (Poore, 1955).

La determinación taxonómica de las especies se efectuó con apoyo de especialistas del Herbario Jerzy Rzedowski (QMEX) de la Universidad Autónoma de Querétaro, consulta de listados florísticos (Villaseñor, 2016) y revisión de los registros del Sistema Nacional sobre Biodiversidad (CONABIO, 2019). La revisión de la nomenclatura de las especies se realizó utilizando las plataformas digitales *Integrated Taxonomic Information System* (ITIS, 2022) y la base de datos del Missouri Botanical Garden (Tropicos, 2023).

En el caso de los individuos no identificados en campo, se tomaron fotografías digitales y se colectaron muestras botánicas que contuvieran las estructuras necesarias para su identificación taxonómica, se sometieron a un proceso de deshidratación y posteriormente se identificaron mediante el cotejo con los ejemplares del mismo herbario.

Se elaboró el listado florístico que incluye la forma de vida, origen, estado de conservación legal de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) y a la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2022), y si se ha reportado como invasora en México. La forma de vida se asignó por observación directa durante las visitas de campo siguiendo los criterios de Judd *et al.* (2002). Utilizando las siguientes categorías: Árbol (A), Arbusto (Ar) y Hierba (H).

A su vez, las especies acuáticas y subacuáticas se subclasificaron de acuerdo con lo establecido por Bonilla-Barbosa y Novelo (1995) empleando las siguientes categorías:

Tolerantes (To): grupo de plantas que puede tolerar suelos inundados o alta humedad en el mismo por periodos cortos de tiempo aunque no son acuáticas, Enraizadas emergentes (EE): especies que se encuentran enraizadas al sustrato con sus estructuras vegetativas y reproductivas por encima de la superficie del agua, Libres flotadoras (LF): especies que tienen sus estructuras reproductivas y vegetativas sobre la superficie del agua y Tallos postrados (TP): especies que están enraizadas al sustrato, tienen hojas flotadoras y poseen tallos estoloníferos que avanzan sobre el agua.

El origen de las especies se categorizó de acuerdo con Villaseñor (2016) y se verificó en Tropicós, CONABIO y Bonilla y Santamaría (2013). Las categorías empleadas fueron: Nativa (N): especie que se encuentra dentro de su área natural, de acuerdo con su potencial de dispersión (Catford y Jansson, 2014), Exótica (E): especie, subespecie o taxón inferior que se establece fuera de su área natural de distribución (pasada o actual) y de dispersión potencial (IUCN, 1999; CDB, 2009). La clasificación de especies invasoras se otorgó con base en la lista de las especies exóticas invasoras para México (SEMARNAT, 2016).

Análisis de información

Para evaluar la estructura de la vegetación, se determinó para cada especie la densidad en función al número de individuos, la cobertura con base en el área de copa y la frecuencia de acuerdo a la presencia en los sitios de muestreo. A partir de estos parámetros se obtuvo el Índice de Valor de Importancia (IVI), el cual adquiere valores porcentuales de 10 a 100 (Alanís Rodríguez *et al.*, 2020).

Para la estimación de la diversidad se empleó el índice de entropía de Shannon-Weiner (H'), el cual está basado en la distribución proporcional de la abundancia de cada especie (Magurran, 2004) y el índice de diversidad verdadera de Shannon (1D) (Jost, 2006) basado en el número efectivo de especies abundantes. Y para determinar el grado de semejanza entre los dos tramos de cada río se empleó el Índice de Similitud de Jaccard (I_j) (Magurran, 1988) (Cuadro 2).

Con base en los resultados del análisis del Índice de Valor de Importancia (IVI) se construyó el perfil de vegetación asociado a cada tramo evaluado, representando gráficamente el 50% de las especies encontradas, indicando alturas máximas y distribución de las especies encontradas. La elaboración esquemática en 2D fue realizada con el software de diseño AutoCAD LT 2024.

Para evaluar la calidad de las riberas en cada sitio se aplicó el índice RQI (*Riparian Quality Index*) (González del Tánago *et al.*, 2006; González del Tánago y García de Jalón, 2011), para ello se recorrió un tramo de 100 m y a través de observación directa se valoró la condición de las riberas en función de siete parámetros: 1) dimensiones en anchura del espacio ripario con vegetación asociada al río, 2) continuidad longitudinal, cobertura y patrón de distribución, 3) composición y estructura de la vegetación riparia, 4) diversidad de edades y regeneración natural de especies leñosas, 5) condición de las orillas, 6) conectividad transversal del cauce con sus riberas y 7) calidad del sustrato y conectividad vertical. Los primeros tres parámetros se evaluaron en cada margen del río (por separado), mientras que los parámetros 4, 6 y 7 se evaluaron conjuntamente. La valoración del estado de las riberas se obtuvo sumando los valores asignados a cada atributo, bajo las siguientes categorías: Muy bueno (150-130), Bueno (129-100), Moderado (99-70), Pobre (69-40), Malo (39-10) y Muy malo (<10).

Cuadro 2. Fórmulas empleadas para determinar los Índices de diversidad, IVI y Coeficiente de similitud

| Fórmula | Donde |
|--|---|
| $C = \left(\frac{D1 + D2}{4}\right)^2 * \pi$ | <i>C = Cobertura por individuo</i> |
| | <i>D1 = Diámetro 1</i> <i>D2 = Diámetro 2</i> |
| $D_i = \frac{N_i}{S}$ | <i>D_i = Densidad de la especie i</i> |
| | <i>N_i = Número de individuos de la especie i</i> <i>S = Superficie de muestreo (ha)</i> |
| $C_i = \frac{G_i}{S}$ | <i>C_i = Cobertura de la especie i</i> |
| | <i>G_i = Área basal de la especie i</i> <i>S = Superficie de muestreo (ha)</i> |
| $F_i = \frac{P_i}{NS}$ | <i>F_i = Frecuencia de la especie i</i> |
| | <i>P_i = Número de sitios en los que está presente la especie i</i> <i>S = Número total de los sitios de muestreo</i> |
| $IVI = \frac{DR + CR + FR}{3}$ | <i>IVI = Índice de valor de importancia</i> |
| | <i>DR = Densidad relativa</i> <i>CR = Cobertura relativa</i> <i>FR = Frecuencia relativa</i> |
| $H' = - \sum_{i=1}^s p_i * \ln(p_i)$ | <i>H' = Índice de Shannon – Weiner</i> |
| | <i>S = Número de especies</i> <i>ln = Logaritmo natural</i> |
| $1D = \exp(H')$ | $p_i = \frac{\text{Número de individuos de la especie}}{\text{Número total de individuos}}$ |
| | <i>1D = Índice de diversidad verdadera de Shannon</i> <i>H' = Índice de Shannon – Weiner</i> |
| $I_j = \frac{c}{a + b - c}$ | <i>I_j = Coeficiente de similitud de Jaccard</i> |
| | <i>a = Número de especies presentes en el sitio A</i> <i>b = Número de especies presentes en el sitio B</i> <i>c = Número de especies presentes en los sitios A y B</i> |

VII. RESULTADOS

Composición florística

Para los tres ríos evaluados se registraron 80 especies en total, pertenecientes a 43 familias y 75 géneros (Ápndice 1). Siendo la familia Asteraceae la mejor representada (13 especies), seguida de Fabaceae y Poaceae (seis cada una), Solanaceae (cuatro), Salicaceae, Lamiaceae, Oleaceae y Onagraceae (tres cada una), Rosaceae, Commelinaceae, Cupressaceae y Cactaceae (dos cada una). Mientras que el resto de familias estuvo presente solo con una especie (Figura 7).

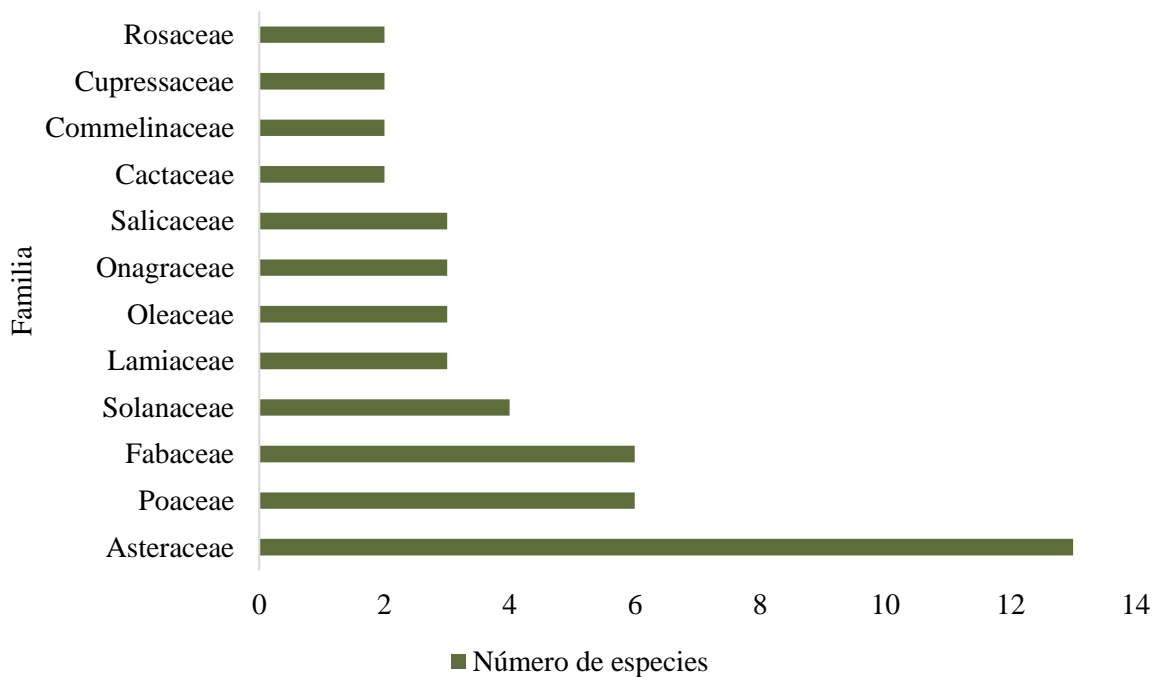


Figura 7. Número de especies por familia de los Ríos El Pueblito, Paisanos y Atoyac.

Del total de especies registradas, el 71% fueron nativas de México (57) y el 29% exóticas (23). De las cuales, diez se clasificaron como invasoras: *Verbesina encelioides*, *Nasturtium officinale*, *Arundo donax*, *Melinis repens*, *Cenchrus ciliaris*, *Argemone mexicana*, *Ricinus communis*, *Typha domingensis*, *Azolla filiculoides* y *Persicaria lapathifolia* (Figura 8).

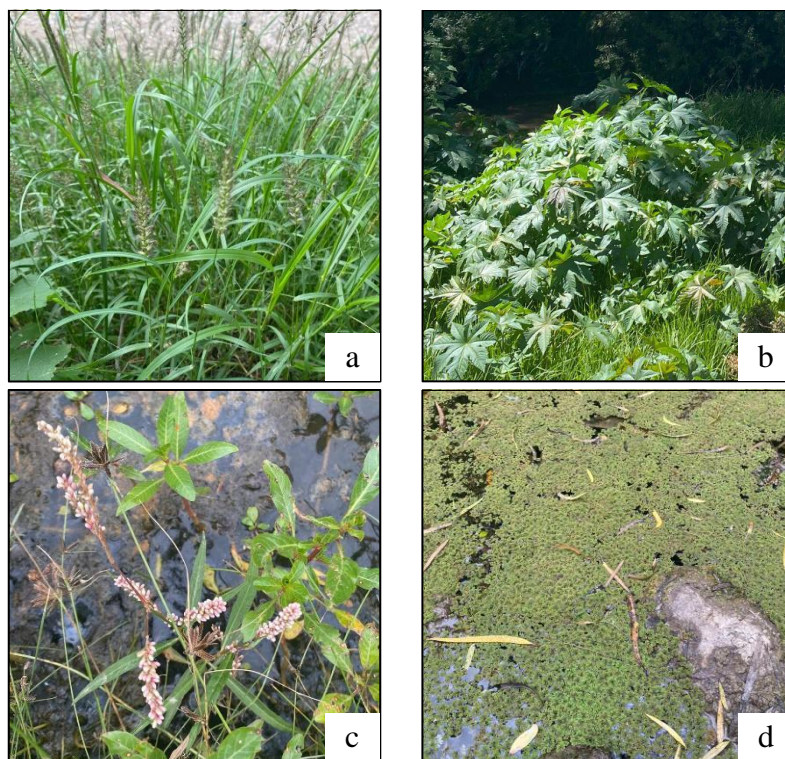


Figura 8. Especies clasificadas como invasoras dentro de México
a) *Cenchrus ciliaris* (TUPa), b) *Ricinus communis* (TUA), c) *Persicaria lapathifolia* (TNPa) y d) *Azolla filiculoides* (TNPu).

En relación a las formas de vida, predominó el estrato herbáceo con el 65% (52), seguido por el estrato arbóreo con el 26% (21), de las cuales, seis se consideran típicamente riparias y por último el arbustivo con el 9% (siete), dos de ellas asociadas a ambientes riparios. Las herbáceas acuáticas y subacuáticas se clasificaron de la siguiente forma: 12 especies tolerantes (To), nueve especies enraizadas emergentes (EE), dos especies con tallos postrados (TP) y dos libres flotadoras (LF) (Figuras 9, 10 y 11).

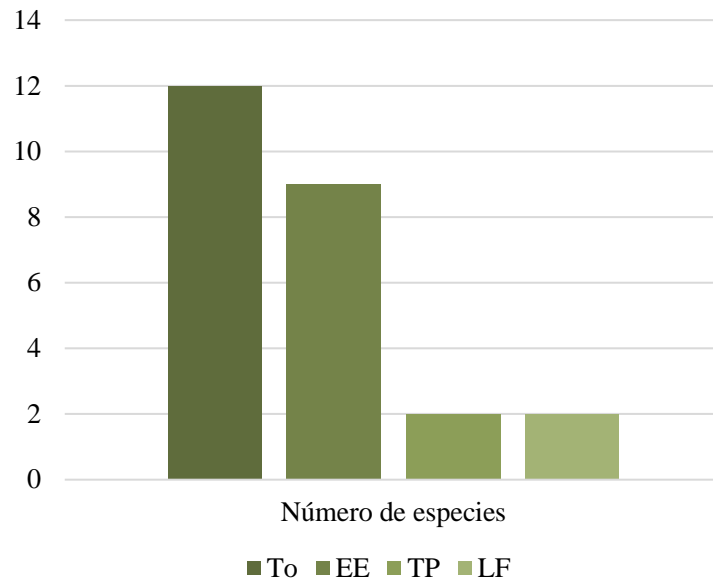


Figura 9. Clasificación de las especies acuáticas y subacuáticas.

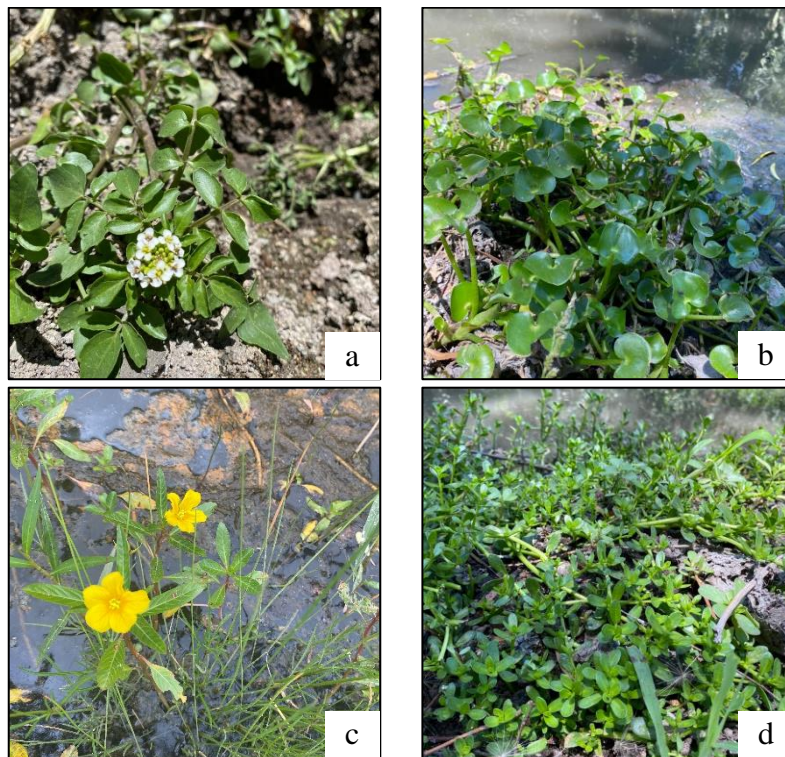


Figura 10. Clasificación de las especies acuáticas.

a) *Nasturtium officinale* (TUPu), b) *Heteranthera reniformis* (TUPu), c) *Ludwigia peploides* (TNPa) y d) *Bacopa monnieri* (TNPu).

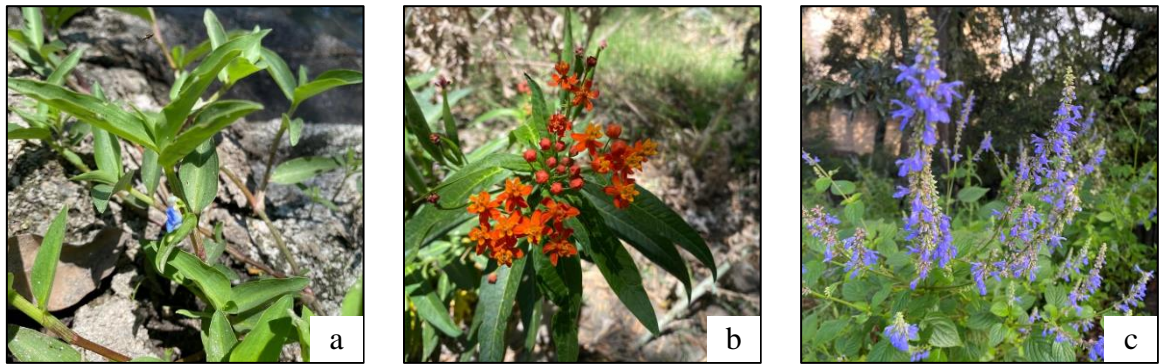


Figura 11. Especies tolerantes a ambientes acuáticos o húmedos.

a) *Commelina coelestis* (TUPu), b) *Asclepias curassavica* (TUPu) y c) *Salvia tiliifolia* (TNA).

Asimismo, se identificaron 24 especies capaces de prosperar en ambientes perturbados (Figura 12).

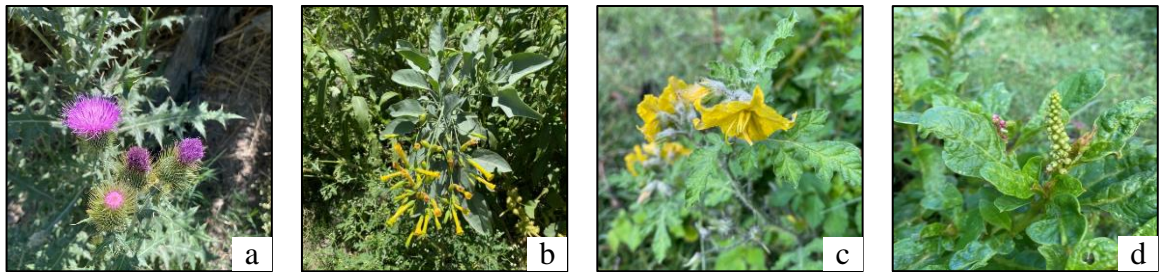


Figura 12. Especies indicadoras de disturbios.

a) *Cirsium raphilepis* (TUPu), b) *Nicotiana glauca* (TUPa), c) *Solanum rostratum* (TNA) y d) *Phytolacca icosandra* (TUA).

De acuerdo con la NOM-SEMARNAT-059-2010, se identificó a la especie *Cupressus lusitanica* clasificada en la categoría de Protección (Pr).

Río El Pueblito

Se registraron 35 especies en ambos tramos, pertenecientes a 23 familias y 34 géneros (Cuadro 3). Se encontraron ocho especies en común. En el TNPU se encontraron 22 especies, distribuidas en 17 familias y 21 géneros. Sobre su origen, 18 fueron categorizadas como especies nativas y cuatro como exóticas, de las cuales, cuatro se reportaron como

invasoras. Respecto al forma de vida, se encontraron diez árboles, cuatro arbustos y ocho hierbas (Cuadro 4). Por otro lado, en el TUPu se identificaron 21 especies pertenecientes a 16 familias y 21 géneros. Clasificadas de la siguiente manera, 12 nativas y nueve exóticas, siendo invasoras seis de ellas (Figura 13). Siendo la herbácea la forma de vida más representativa con 17 especies, seguido de la arbórea con tres y finalmente la arbustiva con una.

Río Paisanos

Se registraron 40 especies en ambos tramos, distribuidas en 17 familias y 39 géneros. Y se encontraron siete especies compartidas por ambos. En el TNPa se encontraron 27 especies distribuidas en 14 familias y 27 géneros. En cuanto a su origen, se encontraron 19 especies nativas y siete exóticas. Siendo dos invasoras. Se hallaron 17 hierbas, seis árboles y cuatro arbustos. En contraste, en el TUPa se registró la presencia de 20 especies, 13 familias y 19 géneros. Sobre su origen, 15 fueron nativas y cinco exóticas. Según su forma de vida, se encontraron 13 hierbas, tres árboles y cuatro arbustos.

Río Atoyac

Se registraron 34 especies en ambos tramos, distribuidas en 21 familias y 34 géneros. Y se hallaron cinco especies compartidas entre sí. Se registró a *Cupressus lusitanica* bajo la categoría de Protección (Pr) de la NOM-SEMARNAT-059-2010 en el TNA.

En el mismo tramo, se identificaron 26 especies distribuidas en 19 familias y 26 géneros, a la vez que, en el tramo TUA solo se registraron 13 especies, pertenecientes a nueve familias y 13 géneros. En el primer tramo se encontraron 15 hierbas, ocho árboles y tres arbustos, mientras que, en el segundo, seis hierbas, seis árboles y un arbusto. En cuanto su origen, en TNA se hallaron 20 especies nativas y seis exóticas, ninguna se identificó como invasora. En tanto que, en el TUA se clasificaron seis especies como nativas y siete como exóticas, siendo invasoras tres de estas.

Cuadro 3. Composición florística de los Ríos El Pueblito, Paisanos y Atoyac

| Río-Tramo | Familias | Géneros | Especies |
|--------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| El Pueblito | 23 | 34 | 35 |
| TNPu | 17 | 21 | 22 |
| TUPu | 16 | 21 | 21 |
| Paisanos | 17 | 39 | 40 |
| TNPa | 14 | 27 | 27 |
| TUPa | 13 | 19 | 20 |
| Atoyac | 21 | 34 | 34 |
| TNA | 19 | 26 | 26 |
| TUA | 9 | 13 | 13 |

Cuadro 4. Número de especies según la forma de vida

| Río | Tramo | Árboles | Arbustos | Hierbas |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|----------------|
| El Pueblito | TNPu | 10 | 4 | 8 |
| | TUPu | 3 | 1 | 17 |
| Paisanos | TNPa | 6 | 4 | 17 |
| | TUPa | 3 | 4 | 13 |
| Atoyac | TNA | 8 | 3 | 15 |
| | TUA | 6 | 1 | 6 |

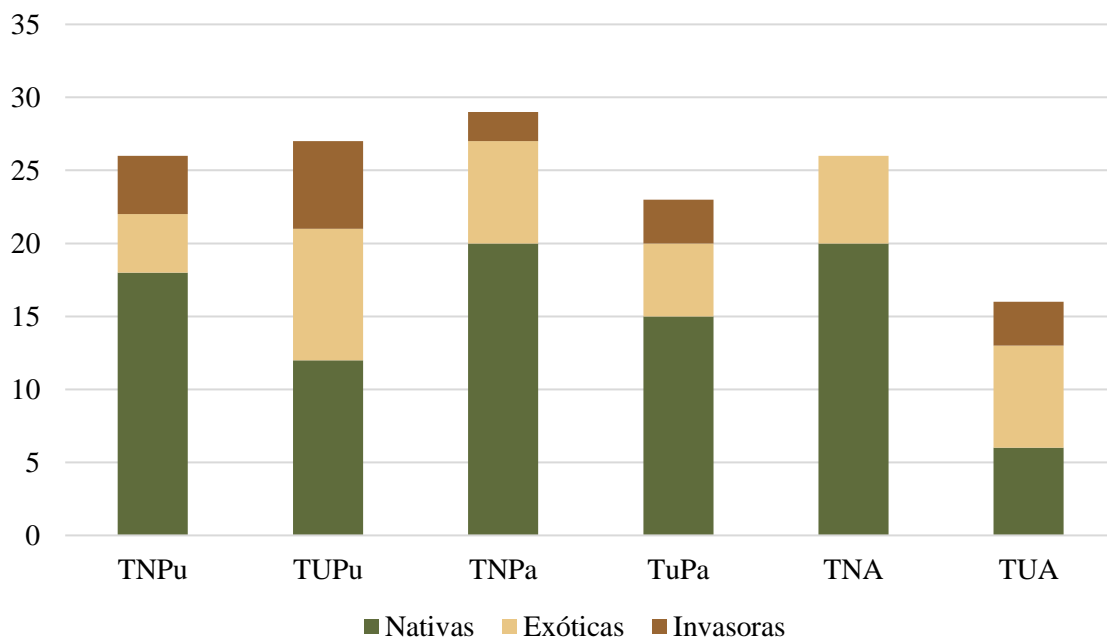


Figura 13. Número de especies según su origen y estatus invasor en México.

Diversidad

La diversidad más alta se encontró en TNA con valores de 3.04 para el Índice de diversidad específica (H') y 20.93 para el índice de diversidad verdadera (1D). Mientras que, la diversidad más baja se registró en TUA con 2.06 y 7.91 respectivamente (Cuadro 5).

Cuadro 5. Índice de Shannon-Weiner (H') e índice de diversidad verdadera de Shannon (1D) de las especies registradas en los tramos evaluados

| Río | Tramo | H' | 1D |
|-------------|-------|------|---------|
| El Pueblito | TNPu | 2.67 | 14.56 |
| | TUPu | 2.43 | 11.37 |
| Paisanos | TNPa | 2.68 | 14.62 |
| | TUPa | 2.57 | 13.11 |
| Atoyac | TNA | 3.04 | 20.93 |
| | TUA | 2.06 | 7.91 |

Coefficiente de similitud

La mayor similitud se encontró entre los tramos TUPa y TUPu (24%), mientras que los tramos más diferentes fueron TNA y TUPu (6%) (Figura 14).

En el Río El Pueblito se obtuvo una similitud entre tramos del 23%, compartiendo las siguientes especies: *Schinus molle*, *Nasturtium officinale*, *Commelina coelestis*, *Vachellia farnesiana*, *Heimia salicifolia*, *Persicaria lapathifolia*, *Salix humboldtiana* y *Cyperus pseudovegetus* (Cuadro 6).

En cambio, en el Río Paisanos la similitud entre tramos fue del 18%, encontrándose las siguientes especies en común *Schinus molle*, *Ipomoea purpurea*, *Commelina coelestis*, *Baccharis salicifolia*, *Prosopis laevigata*, *Setaria adhaerens* y *Heimia salicifolia*.

Finalmente, en el Río Atoyac la similitud entre tramos fue del 15%, las especies compartidas por ambos fueron *Fraxinus uhdei*, *Baccharis salicifolia*, *Ligustrum lucidum*, *Phytolacca icosandra* y *Salix bonplandiana*.

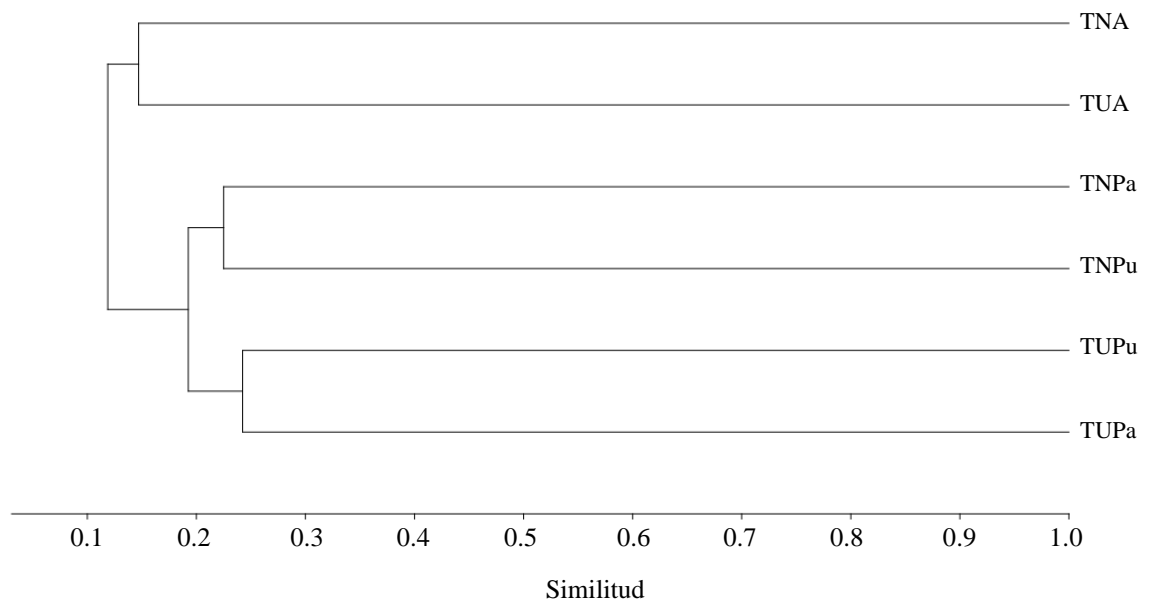


Figura 14. Dendrograma de similitud entre los tramos evaluados obtenido mediante el índice de Jaccard (I_j).

Cuadro 6. Porcentajes de similitud obtenidos mediante el Índice de Jaccard (I_j)

| | TNPu | TUPu | TNPa | TUPa | TNA | TUA |
|------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|
| TNPu | 1 | 0.228 | 0.225 | 0.166 | 0.090 | 0.093 |
| TUPu | 0.228 | 1 | 0.2 | 0.242 | 0.068 | 0.133 |
| TNPa | 0.225 | 0.2 | 1 | 0.175 | 0.152 | 0.111 |
| TUPa | 0.166 | 0.242 | 0.175 | 1 | 0.121 | 0.178 |
| TNA | 0.090 | 0.068 | 0.152 | 0.121 | 1 | 0.147 |
| TUA | 0.093 | 0.133 | 0.111 | 0.178 | 0.147 | 1 |

Índice de valor de importancia

En el Río El Pueblito, en ambos tramos muestreados la especie más importante fue *Salix humboldtiana*, con el 25% (Figuras 15 y 16). Mientras que, para el Río Paisanos la especie más importante en el tramo TNPa fue *Populus alba* con 23% y en el TUPa fue *Schinus molle* con el 20% (Figuras 17 y 18).

De igual forma, la especie más importante en el Río Atoyac no fue la misma hallada en los tramos TNA y TUA, encontrándose a *Alnus acuminata* con 16% y *Salix bonplandiana* con 25% respectivamente (Figuras 19 y 20) (Cuadro 7).

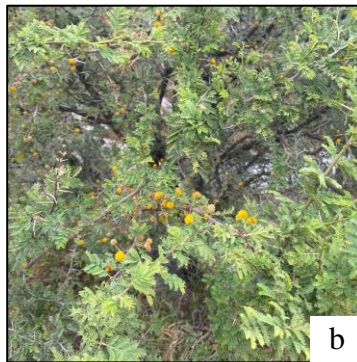


Figura 15. Especies más importantes de TNPu
a) *Salix humboldtiana*, b) *Vachellia farnesiana* y c) *Baccharis salicifolia*.

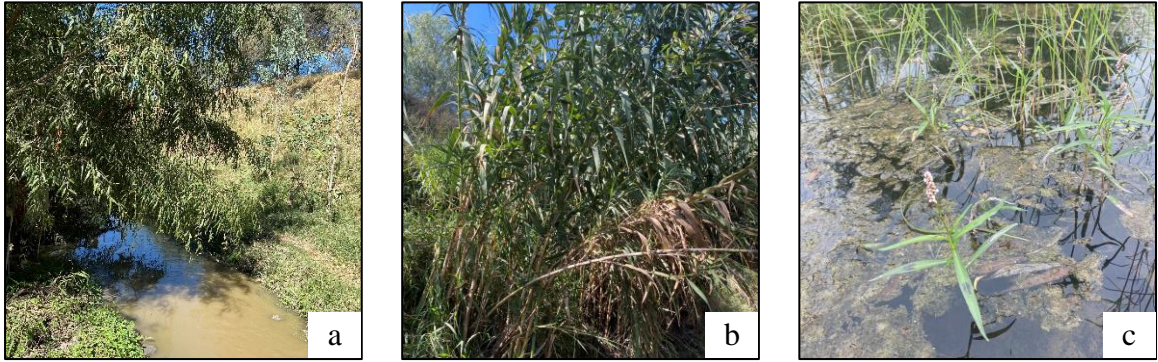


Figura 16. Especies más importantes de TUPu
 a) *Salix humboldtiana*, b) *Arundo donax* y c) *Persicaria lapathifolia*.



Figura 17. Especies más importantes de TNPa
 a) *Populus alba*, b) *Salix bonplandiana* y c) *Heimia salicifolia*.



Figura 18. Especies más importantes de TUPa
 a) *Schinus molle*, b) *Prosopis laevigata* y c) *Baccharis salicifolia*.



Figura 19. Especies más importantes de TNA
 a) *Alnus acuminata*, b) *Salix bonplandiana* y c) *Fraxinus uhdei*.

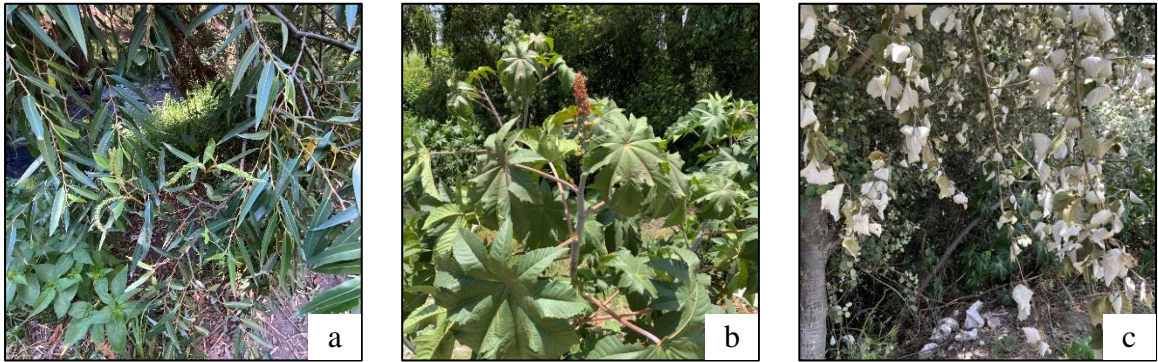


Figura 20. Especies más importantes de TUA
 a) *Salix bonplandiana*, b) *Ricinus communis* y c) *Populus alba*.

Cuadro 7. Especies más importantes por tramo según el Índice de valor de importancia (IVI)

| Río | Sitio | Especie | DR % | FR % | CR % | IVI % |
|-------------|-------|-----------------------------------|------|------|------|-------|
| El Pueblito | TNPu | <i>Salix humboldtiana</i> | 19 | 13 | 42 | 25 |
| | | <i>Vachellia farnesiana</i> | 16 | 8 | 5 | 10 |
| | | <i>Baccharis salicifolia</i> | 12 | 7 | 7 | 9 |
| | | <i>Lysiloma divaricatum</i> | 4 | 3 | 21 | 9 |
| | | <i>Schinus molle</i> | 5 | 3 | 8 | 6 |
| | TUPu | <i>Salix humboldtiana</i> | 10 | 12 | 50 | 25 |
| | | <i>Arundo donax</i> | 10 | 15 | 13 | 13 |
| | | <i>Persicaria lapathifolia</i> | 24 | 6 | 4 | 11 |
| | | <i>Nicotiana glauca</i> | 10 | 12 | 7 | 10 |
| | | <i>Cenchrus ciliaris</i> | 9 | 13 | 5 | 9 |
| Paisanos | TNPa | <i>Populus alba</i> | 22 | 5 | 41 | 23 |
| | | <i>Salix bonplandiana</i> | 11 | 11 | 14 | 12 |
| | | <i>Heimia salicifolia</i> | 14 | 7 | 8 | 10 |
| | | <i>Baccharis salicifolia</i> | 11 | 5 | 7 | 8 |
| | | <i>Barkleyanthus salicifolius</i> | 4 | 11 | 2 | 6 |
| | TUPa | <i>Schinus molle</i> | 13 | 9 | 37 | 20 |
| | | <i>Prosopis laevigata</i> | 16 | 9 | 27 | 17 |
| | | <i>Baccharis salicifolia</i> | 8 | 9 | 8 | 8 |
| | | <i>Argemone mexicana</i> | 8 | 9 | 3 | 7 |
| | | <i>Fraxinus uhdei</i> | 9 | 2 | 7 | 6 |
| Atoyac | TNA | <i>Alnus acuminata</i> | 13 | 9 | 26 | 16 |
| | | <i>Salix bonplandiana</i> | 7 | 5 | 21 | 11 |
| | | <i>Fraxinus uhdei</i> | 7 | 7 | 17 | 10 |
| | | <i>Ligustrum lucidum</i> | 9 | 5 | 7 | 7 |
| | | <i>Phytolacca icosandra</i> | 9 | 5 | 4 | 6 |
| | TUA | <i>Salix bonplandiana</i> | 21 | 16 | 39 | 25 |
| | | <i>Ricinus communis</i> | 19 | 13 | 16 | 16 |
| | | <i>Populus alba</i> | 6 | 6 | 21 | 11 |
| | | <i>Phytolacca icosandra</i> | 11 | 10 | 2 | 8 |
| | | <i>Schinus molle</i> | 5 | 6 | 6 | 6 |

Perfiles de vegetación

Río El Pueblito

La estructura vertical y horizontal de la vegetación presentó patrones similares a lo largo de los tramos urbano y natural del Río El Pueblito. Sin embargo, el sitio natural se caracterizó por el predominio de árboles y arbustos que alcanzan los 14 m. Observándose un corredor continuo de vegetación y la presencia de pocos claros. Así como la formación de los distintos estratos vegetales.

En tanto que, el tramo urbano reflejó un dominio de hierbas y arbustos con alturas por debajo de los 5 m, presencia de pocos árboles aislados y la formación de claros muy amplios. Destacando el predominio de especies herbáceas, claros desprovistos de vegetación y la presencia de cuatro especies invasoras dentro de las más importantes, como *Arundo donax*, *Persicaria laphatifolia*, *Argemone mexicana* y *Cenchrus ciliaris* (Figura 21).

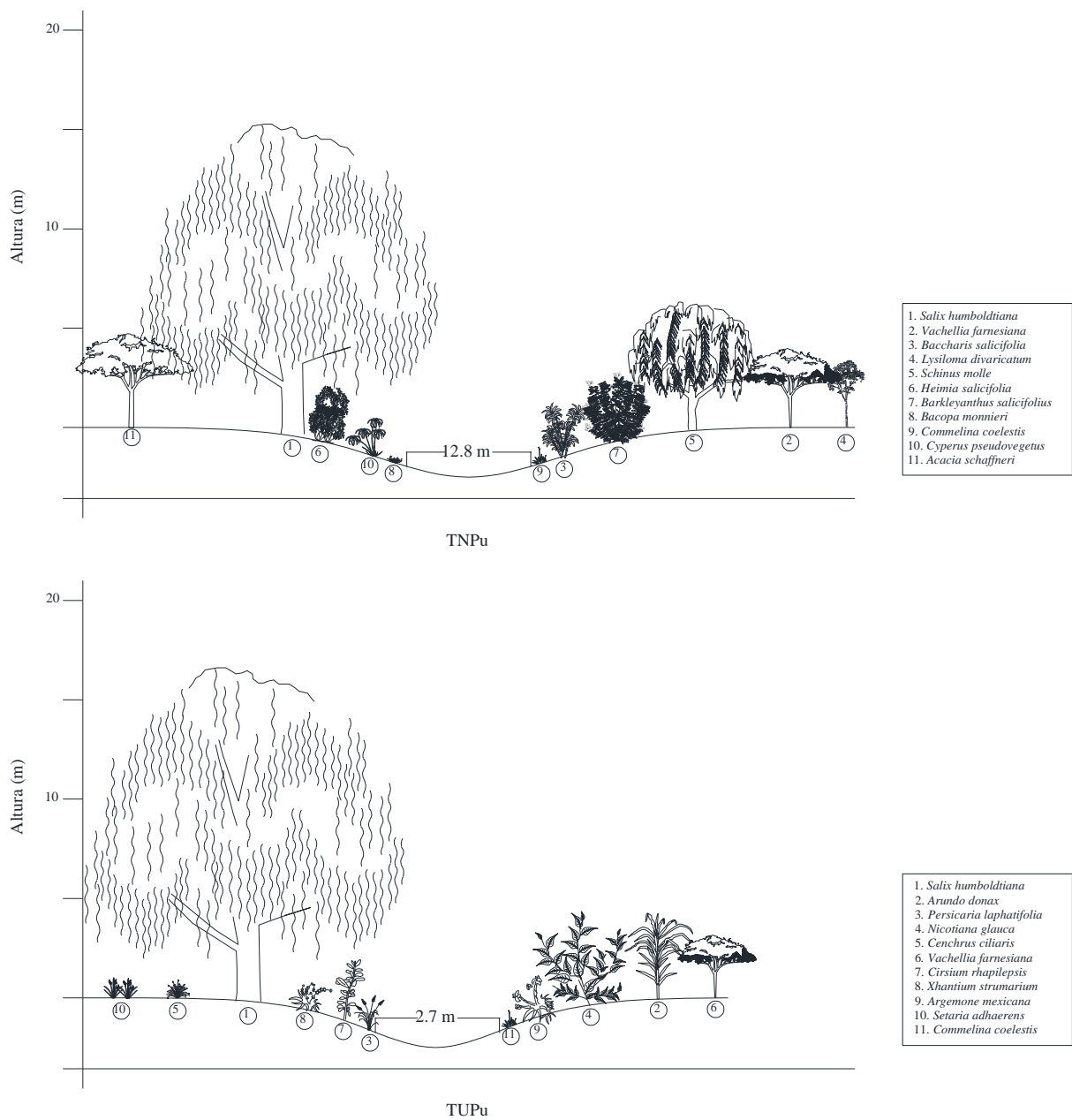


Figura 21. Perfiles de vegetación del Río El Pueblito
 TNPu: El Batán, TUPu: Col. Las Flores.

Río Paisanos

El perfil del sitio natural fue uniforme en cuanto a la distribución de las especies, observándose mayor riqueza de estas, predominio de especies leñosas de hasta 23 m de alto agrupadas a modo de corredor continuo y adyacente al cauce, así como copas amplias disminuyendo la presencia de claros.

Por otro lado, el perfil del sitio urbano presentó menos especies, distribuidas de forma aislada, dominando herbáceas que favorecen la formación de claros amplios. Destacando una especie clasificada como invasora (*Cenchrus ciliaris*) y especies no riparias, como *Opuntia-ficus indica* (Figura 22).

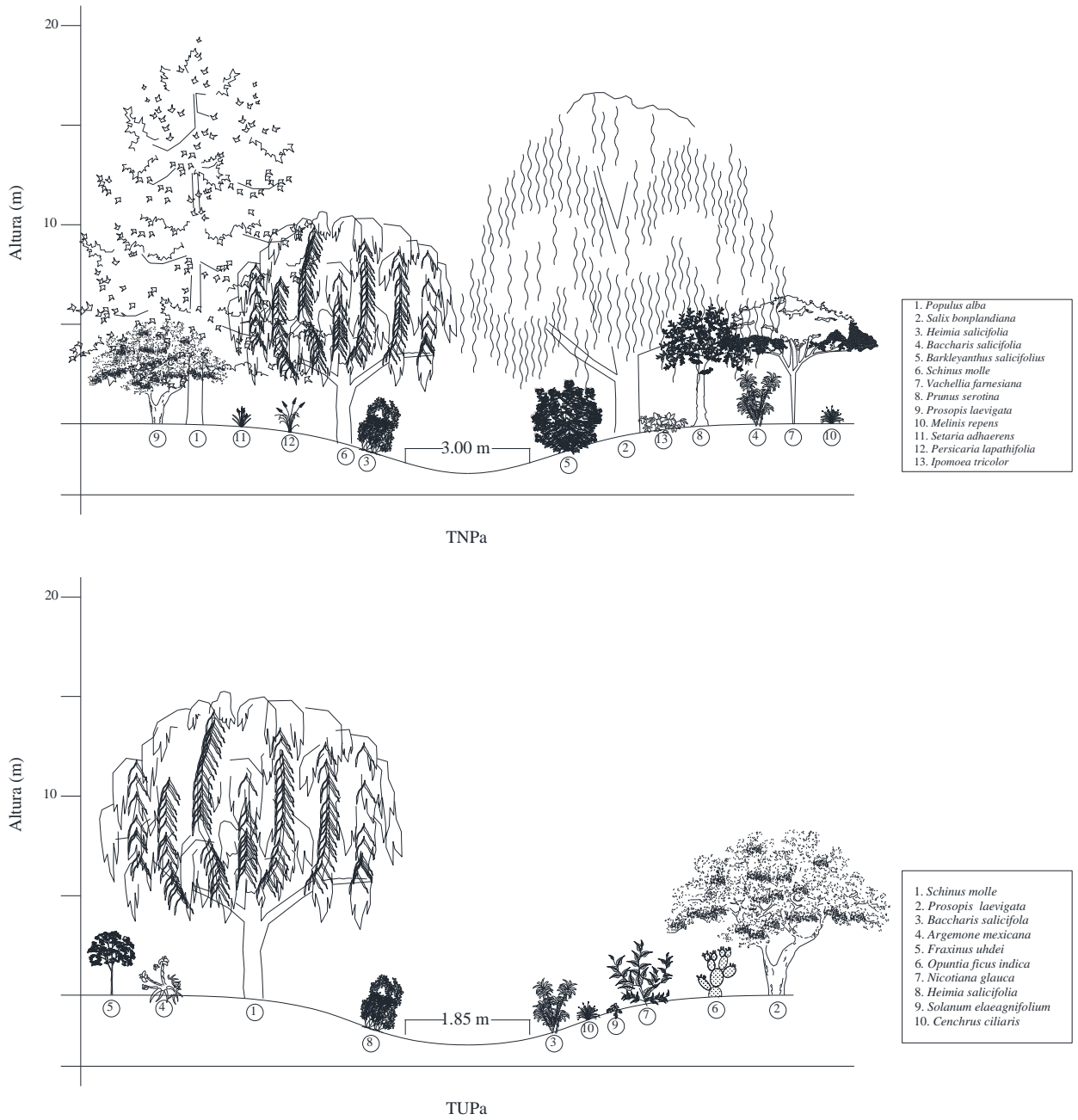


Figura 22. Perfiles de vegetación del Río Paisanos
 TNPa: Mexquitic de Carmona, TUPa: Av. del Sauce.

Río Atoyac

El perfil del sitio natural fue uniforme en cuanto a la distribución vertical de los árboles entre el suelo y el dosel a lo largo de la parcela de muestreo, con escasa presencia de claros. Además, fue el sitio con la mayor cantidad de individuos y especies, con algunos individuos emergentes que alcanzaban el dosel y la mayoría de menos de 10 m de altura.

En cambio, en el TUA se obtuvo una altura máxima de 16 m para *Lisgutrum lucidum* en el estrato arbóreo-arbustivo. Y el estrato herbáceo alcanzó una altura máxima de 4.20 en *Ricinus communis*. Observándose un predominio de herbáceas, claros amplios y especies invasoras como esta última, y *Cenchrus ciliaris* (Figura 23).

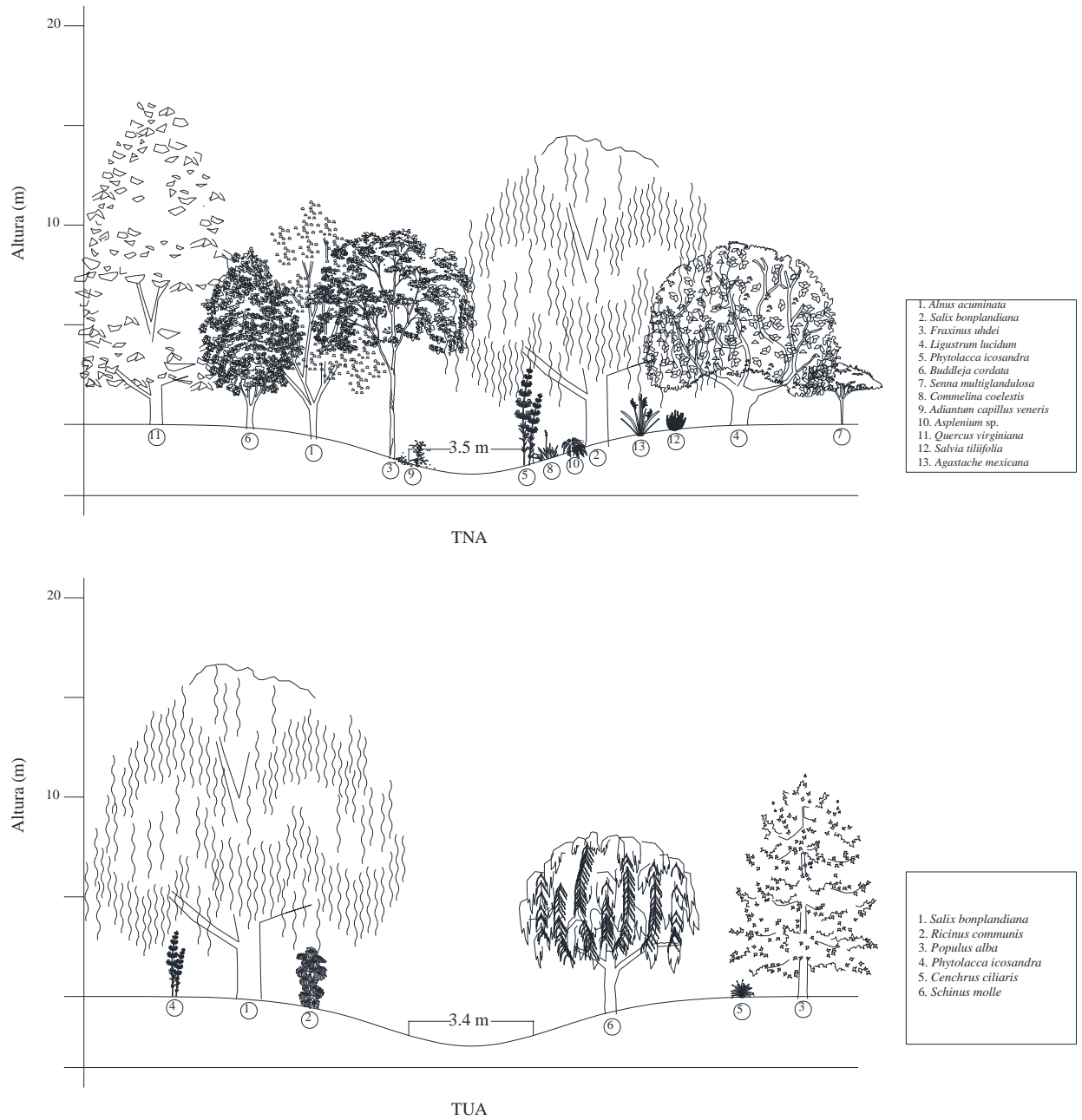


Figura 23. Perfiles de vegetación del Río Atoyac
 TNA: San Matías Tlalancaleca, TUA: San Martín Texmelucan.

Índice RQI para la valoración de las riberas

El tramo que obtuvo la valoración más alta fue el TNPu bajo la categoría de bueno, en tanto que, la valoración más baja la obtuvo el TUPa alcanzando la categoría de muy pobre (Cuadro 8).

Cuadro 8. Índice RQI para la valoración de las riberas

| Río | Tramo | RQI | Estado de la ribera |
|-------------|-------|-----|---------------------|
| El Pueblito | TNPu | 80 | Bueno |
| | TUPu | 19 | Muy pobre |
| Paisanos | TNPa | 63 | Regular |
| | TUPa | 22 | Muy pobre |
| Atoyac | TNA | 74 | Regular |
| | TUA | 23 | Muy pobre |

Río El Pueblito

El tramo de TNPu adquirió una valoración del estado de las riberas como “bueno”. Se encontró continuidad longitudinal de la vegetación riparia formando un corredor de árboles y arbustos con pequeños claros, el ancho de las riberas fue de 12 m y estuvo cubierto más del 50% con árboles y arbustos. En cuanto a su composición y estructura vegetal, se hallaron 22 especies, predominando árboles y arbustos (14) seguido de herbáceas (ocho), correspondientes a cuatro especies exóticas y 18 nativas. Resultando cuatro invasoras. Además, se observó regeneración natural entre los individuos (juveniles, adultos y maduros). También, se halló condición de las orillas regular ya que menos del 50 % del contorno de la lámina de agua estuvo en contacto con vegetación leñosa. Así mismo se observaron orillas inundables en un periodo de 5 a 10 años. Y, por último, se identificaron sólo pocos senderos compactados debido al desarrollo de actividades deportivas y recreativas (ciclismo, atletismo y senderismo), provocando la compactación del suelo (Figura 24).



Figura 24. Atributos evaluados en el tramo natural del Río El Pueblito.

Mientras que, en el TUPu, la condición de las riberas fue “muy pobre”. Se encontró mala continuidad longitudinal ya que se halló menos del 25 % de cobertura de vegetación leñosa, favoreciendo la presencia de claros amplios, así como ancho de las riberas de 1.5 m. Se encontraron 21 especies, de las cuales, nueve fueron exóticas y 12 nativas, y seis invasoras dentro de éstas. Predominando las hierbas (17) y muy pocos árboles y arbustos aislados (cuatro). No se encontró regeneración natural ya que solo se encontraron pocos árboles adultos y ningún individuo juvenil. No se encontró ninguna especie leñosa en contacto con la lámina de agua. Y se localizó mala conectividad lateral debido a la sobre elevación de orillas. Así como mala permeabilidad del suelo observándose senderos muy compactados y materiales alóctonos (escombros, basura y residuos urbanos) (Figura 25).



Figura 25. Atributos evaluados en el tramo urbano del Río El Pueblito.

Río Paisanos

El estado de las riberas localizado en el TNPa alcanzó la clasificación de “regular”, observándose una continuidad longitudinal regular debido a que el estrato arbóreo-arbustivo está distribuido irregularmente a modo de pequeños manchones aislados, así como 5 m de ancho. Se encontraron 27 especies (dos invasoras), siendo nativas 20 y exóticas siete. Correspondientes a seis árboles, cuatro arbustos y 17 hierbas. Se encontró una regeneración natural regular, caracterizada por predominio de árboles adultos y pocos juveniles. Así como mala condición de sus orillas que se encontraron más o menos rectas a causa de obras hidráulicas (represa). Así mismo se observaron orillas un poco sobreelevadas generando una buena conectividad lateral y suelo poco compactado, debido a la presencia de senderos muy marcados, viviendas muy cercanas al cauce y un puente vehicular atravesando el río (Figura 26).

Por otro lado, en el TUPa, el estado de las riberas fue “muy pobre”, debido a la mala continuidad longitudinal del bosque, ocasionado por el predominio de herbáceas, observándose muy pocos árboles adultos ubicados de manera aislada. El ancho de las riberas fue menor a 5 m. Se encontraron 20 especies (tres invasoras). Según su origen¹⁵ fueron nativas y cinco exóticas. Respecto al forma de vida se distribuyeron en tres árboles, cuatro arbustos y 13 hierbas. También, se encontraron cactáceas, vegetación no propia de hábitats ribereños. Se encontró una regeneración natural mala, caracterizada por la presencia de sólo árboles adultos. Así como mala condición de sus orillas ya que ninguna especie leñosa estuvo en contacto con la lámina de agua. Por otro lado, se observaron orillas muy sobreelevadas ocasionando mala conectividad lateral. Y suelo muy compactado debido a la presencia de materiales alóctonos (escombros, grava, residuos sólidos) y edificaciones contiguas (casas y puente vehicular) (Figura 27).



Figura 26. Características evaluadas en el tramo natural del Río Paisanos.



Figura 27. Características valoradas del tramo urbano del Río Paisanos.

Río Atoyac

El TNA presentó un estado de las riberas “regular”, observándose una continuidad longitudinal buena debido a que el estrato arbóreo-arbustivo está distribuido de forma continua a modo de corredor. El ancho de las riberas fue de 10 m de ancho. Respecto a su composición y estructura, se registraron 26 especies, 20 resultaron nativas y seis exóticas, de las cuales ninguna resultó invasora. Se observó regeneración regular debido al predominio de individuos adultos o maduros y escasa representación de juveniles. También se observó buena condición de las orillas ya que más del 50% de la lámina de agua estuvo en contacto con árboles. Así como buena conectividad lateral al observarse orillas un poco sobreelevadas, y suelo compactado debido a la presencia de casas colindantes al cauce y senderos definidos (Figura 28).

En cambio, TUA se encontró con condición de riberas “muy pobre”, observándose mala conectividad longitudinal debido a la alta abundancia de herbáceas, ocasionando claros amplios, así como ancho de las riberas menores a 5 m. Se registraron 13 especies (tres invasoras). De las cuales seis fueron nativas y siete exóticas; con una distribución de seis árboles, un arbusto y cinco herbáceas. También se observó ausencia de individuos jóvenes, mala conectividad lateral debido a sus orillas muy sobreelevadas, descargas de agua negra visibles, y compactación del suelo debido a la presencia de materiales alóctonos (escombros, grava, residuos sólidos) y edificaciones contiguas (casas, campos de cultivo y caminos) (Figura 29).

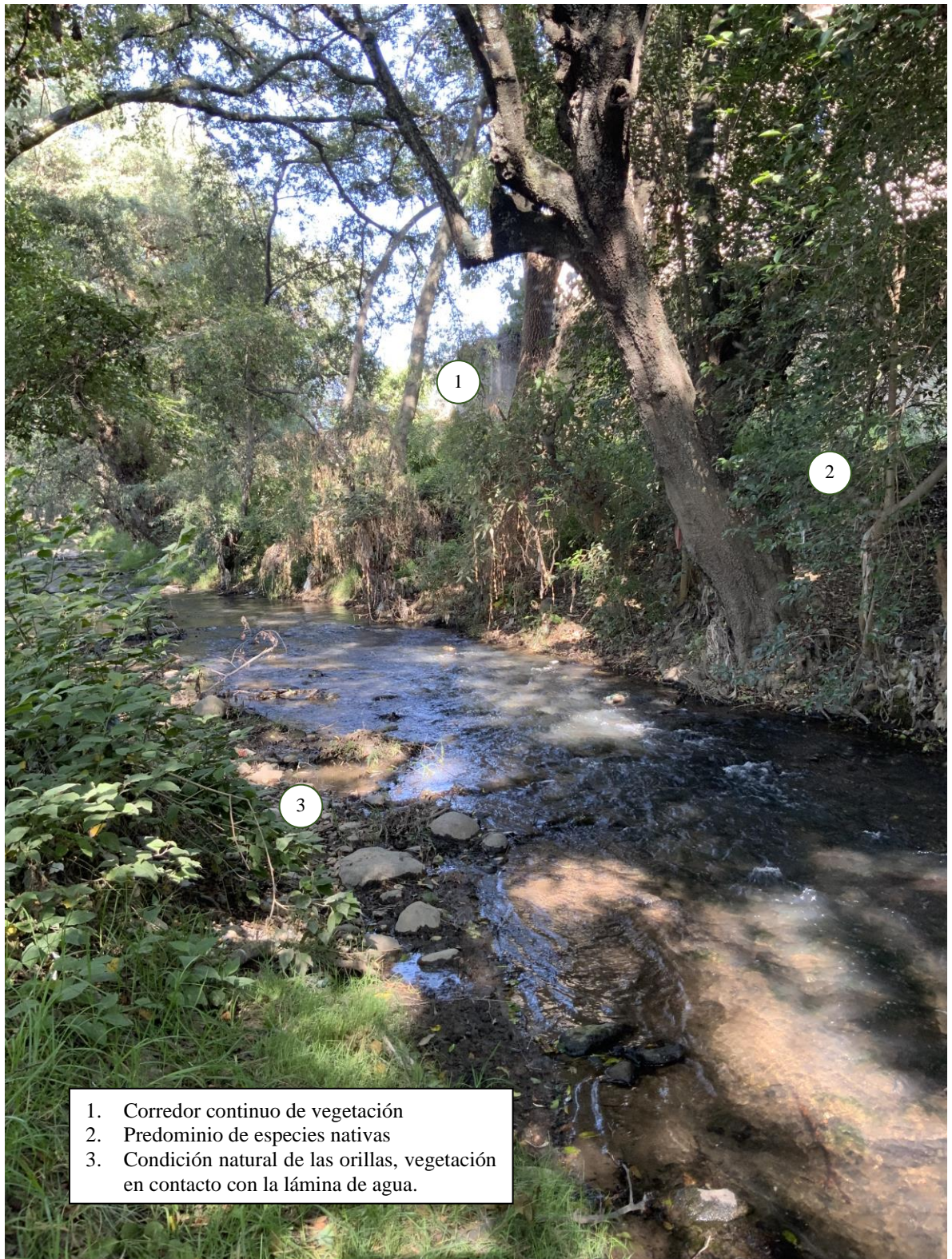


Figura 28. Condición del tramo natural de Río Atoyac.



Figura 29. Atributos evaluados en el tramo urbano del Río Atoyac.

VIII. DISCUSIÓN

Se observaron cambios que evidenciaron el deterioro de los tramos urbanos. Por el contrario, en los tramos naturales de los tres ríos se encontró mayor riqueza y diversidad florística, mejor estado de las riberas y mejor condición de las orillas, más individuos leñosos en contacto con la lámina de agua y regeneración natural del bosque al encontrarse árboles en diferentes etapas de crecimiento, además del predominio de especies arbóreas de origen nativo. Así mismo, se observó que la vegetación estuvo más uniformemente distribuida, formando corredores continuos a lo largo del cauce, favoreciendo la formación de los distintos estratos vegetales y propiciando la conectividad longitudinal y lateral con ecosistemas adyacentes.

En contraste, los tramos urbanos mostraron predominio de herbáceas, siendo éste un indicador de perturbación en zonas riparias (Méndez-Toribio *et al.*, 2014), mayor presencia de especies exóticas y menos individuos arbóreos, distribuidos a manera de parches, confirmando que la vegetación remanente en sitios con marcada influencia humana, como la agricultura o el desarrollo urbano, presenta cambios en su fisonomía caracterizada por un dosel discontinuo (Moffatt *et al.*, 2004; Aguiar y Ferreira, 2005).

De igual forma, no se observaron distintos estratos vegetales ni regeneración natural de la vegetación. Es decir, la estructura vegetal se limitó a un dosel caracterizado por pocos árboles adultos, ausencia de individuos juveniles en el subdosel y predominio de herbáceas, señalando que, actualmente estos sitios carecen de individuos capaces de reemplazar en un futuro a los árboles adultos existentes.

En cuanto a la condición de las riberas, estas mostraron orillas rectificadas y poca o nula vegetación en las mismas. La pérdida de flora en las orillas de los ríos propicia la ausencia de sombra y de hojas que caen al agua, siendo una de las causas de modificación de su composición química (Meli, 2017). Esto altera el procesamiento de compuestos orgánicos, que repercute directamente en la estructura y composición vegetal, ya que éstas se modifican de acuerdo a la cantidad y naturaleza del material que ingresa al sistema acuático (Thompson y Townsend, 2003).

Por otra parte, se observaron suelos más compactados, con presencia de materiales alóctonos como escombros y desechos urbanos. Así como nula conectividad con la vegetación colindante. Cotler (2008) señala que cuando disminuye la conectividad, se modifica la dinámica morfológica, se reducen las funciones ecológicas y decrece el hábitat de diversas especies, ocasionando la pérdida de biodiversidad, ya que los hábitats riparios son considerados actores fundamentales para la migración animal y la dispersión vegetal.

Respecto a la riqueza florística, esta investigación complementa estudios previos, donde se han analizado las modificaciones estructurales y de composición en gradientes urbanos-naturales de ríos mexicanos, tal es el caso del Río Pitillal en Jalisco, donde se registraron 160 especies distribuidas en 412 familias y 72 géneros (Arechiga *et al.*, 2022). Mientras que, para este estudio se identificaron 80 especies, pertenecientes a 43 familias y 75 géneros, en tramos de tres ríos del centro del país.

A nivel río, en El Pueblito se registraron 35 especies, en cambio, en un estudio previo en el mismo río, Mora y Martínez y Díaz de Salas (2009), encontraron 30. No obstante, dicho estudio consideró solo especies estrictamente acuáticas. Cabe destacar que en esta investigación no se encontró a *Alnus jorullensis* ni a *Salix bonplandiana*, especies reportadas por Martínez y García en 2001 y por Mora y Martínez y Díaz de Salas en 2009, respectivamente. Esto puede indicar la pérdida de estas especies en los tramos estudiados, o puede deberse a que los sitios de muestreo en ambos estudios no fueron los mismos, y que éstas se encuentran en menor abundancia o frecuencia en el río, por lo que es necesario realizar nuevos estudios para verificar el estatus de las mismas.

Es importante mencionar que esta investigación aporta nueva información florística de los Ríos Atoyac y Paisanos, ya que no se contaba con estudios previos sobre la flora y diversidad del bosque ripario asociado a éstos. En el caso de Paisanos, Ramos-Palacios *et al.* (2021) habían señalado que la riqueza vegetal estaba dada por nueve especies, a diferencia del presente estudio, donde se determinaron 40 especies vegetales.

Para el Río Atoyac no se reportan estudios florísticos asociados, sin embargo, Aguilar-Luna *et al.* (2018) indican la presencia de siete especies arbóreas en el Río Xaltatempa en Puebla, en cambio, en el Atoyac se encontraron 11 especies de árboles.

A nivel tramo, la mayor riqueza se concentró en TNPa (27), seguido por TNA (26) y TNPu (22). Observándose una disminución de especies en los tramos urbanos de cada río, evidenciando la perturbación e impacto antrópico, resultado del establecimiento de asentamientos humanos, industriales y zonas agrícolas. Diversos estudios reportan una mayor riqueza vegetal y mayor presencia de especies nativas en sitios adyacentes a bosques nativos, a diferencia de sitios adyacentes urbanizados o con agricultura (Méndez-Toribio *et al.*, 2014; Díaz-Pascacio *et al.*, 2018).

Las familias botánicas mejor representadas fueron Asteraceae con 13 especies, Fabaceae y Poaceae con seis, similar a lo reportado en estudios de hábitats ribereños por Mendoza y Quevedo (2019), quienes identificaron a Asteraceae y Poaceae como las familias más abundantes en el estado de Hidalgo, con 24 y 17 especies. Mientras que, Camacho-Rico *et al.* (2006) encontraron a Fabaceae como la mejor representada con 11 especies en Morelos, seguida por Asteraceae con 6 especies. Así mismo, Sampayo-Maldonado *et al.* (2021) hallaron a Fabaceae como la más representativa en Sinaloa con 11 especies. Y de acuerdo con Rzedowski (1978), es la familia más característica en los ecosistemas ribereños de zonas semiáridas (Sampayo-Maldonado *et al.*, 2021).

Esto se debe a que Asteraceae, Fabaceae y Poaceae son unas de las familias más diversas y con distribución más amplia en México (Gómez-Pompa, 1966) gracias a sus múltiples adaptaciones morfológicas, fisiológicas y variados hábitos de crecimiento. Además, son capaces de establecerse en zonas con disturbios recurrentes, tal es el caso de los disturbios naturales ocasionados por las crecidas de los ríos (Camacho-Rico *et al.*, 2006).

Las especies más importantes de los tres ríos pertenecen a los géneros *Salix*, *Populus*, *Alnus* y *Fraxinus*, que de acuerdo a Rzedowski (1978) son géneros de árboles dominantes del bosque de ribera. En cuanto a arbustos, este mismo autor indica que los

géneros *Acacia*, *Heimia* y *Baccharis* son capaces de asumir un papel dominante en ausencias de árboles, formando matorrales densos o espaciados. Tal es el caso del TNPa, donde se encontraron matorrales espaciados de *Heimia salicifolia* en dos transectos, que de acuerdo a Solís-Garza *et al.*, (2017) el dominio de arbustos se puede atribuir a los disturbios y a la fragmentación del suelo para uso agropecuario.

En relación a las formas de vida, el estrato herbáceo estuvo presente con el 65% (52), seguido por el estrato arbóreo con el 26% (21) y por último el arbustivo con el 9% (siete). El predominio de herbáceas se debe a son el grupo de plantas con la mayor riqueza y diversidad en el país (Villaseñor y Ortiz, 2014). De igual forma, se encontró el 39% de especies consideradas como malezas arvenses y ruderales, tales como, *Bidens pilosa*, *Parthenium hysterophorus*, *Tithonia tubiformis*, *Xanthium strumarium* y *Melinis repens*, debido a la cercanía de los tramos evaluados con carreteras, caminos y zonas agrícolas.

Sobre el origen de las especies, el 71% fueron nativas de México (57) y el 29% exóticas (23). En todos los tramos predominaron las especies nativas, a excepción del TUA, albergando el 54% de exóticas.

Los ríos y las zonas ribereñas se han catalogado como corredores eficaces para el establecimiento de especies exóticas y especies invasoras, por la elevada correspondencia área-borde, pueden tener múltiples puntos de entrada para nuevas especies (Ede y Hunt, 2009), además, los ríos son capaces transportar grandes cantidades de semillas y propágulos procedentes de zonas urbanas y periurbanas a través del agua. Por otra parte, la vegetación riparia funge como zonas de amortiguamiento que favorece el establecimiento de nuevas especies. Además, el cambio de los regímenes hídricos mediante la construcción de presas, diques, embalses y la rectificación de los cauces, propician condiciones que benefician a las especies introducidas (Castro-Diez y Álvaro, 2017). Por ende, las especies exóticas tienen el potencial de modificar la composición del bosque y la función ecológica de los sistemas ribereños urbanos (Pennington *et al.*, 2010), tales transformaciones incluyen alteraciones a los procesos hidrológicos y geomórficos (Greene y Knox, 2014).

Las especies invasoras modifican las propiedades abióticas como la concentración de sales, el almacenamiento de carbono (Al-Chokhachy *et al.*, 2013) y el reciclaje de nutrientes (Castro-Díez *et al.*, 2014). Los bosques de galería retienen mayor cantidad de nitrógeno y fósforo que las plantaciones de especies invasoras (Oyarzún *et al.*, 2007). El río que concentró más especies invasoras fue El Pueblito (ocho), seguido de Paisanos (cinco) y, por último, Atoyac (tres). Mientras que, a nivel tramo, se registraron más en el TUPu (seis), seguido por el TNPu (cuatro), el TUPa y TUA (tres cada una) y TNPa (dos), el único tramo que no presentó especies invasoras fue el TNA. La presencia de especies invasoras confirma el grado de alteración que padece cada afluente, pues son consideradas como indicadores de disturbios. De acuerdo a Castro-Díez y Álvaro (2017), tienen el potencial de alterar la estructura y el funcionamiento de la comunidad receptora, causando la extinción local de especies nativas y añadiendo nuevos rasgos funcionales al hábitat.

En el TUPu se encontró al carrizo gigante (*Arundo donax*) como la especie más frecuente, cuyo crecimiento de rizomas lignificados contribuye a atrapar sedimentos y a estrechar los cauces de los cuerpos de agua, disminuyendo el control de inundaciones (Lowe *et al.*, 2000; Sanz-Elorza *et al.*, 2004). Asimismo, su establecimiento altera los ciclos de nutrientes e hidrología, ya que necesita grandes volúmenes de agua para su crecimiento: entre tres y diez veces más que las especies nativas (Mendoza-Cariño *et al.*, 2023), así como el régimen de incendios de los ecosistemas riparios debido a su inflamabilidad (Contreras-Arquieta, 2012).

Mientras que, en el Río Atoyac se encontró a la higuera (*Ricinus communis*) como la segunda especie más importante del tramo urbano. Similar a lo reportado por Mata-Balderas *et al.* (2020) y Arechiga *et al.* (2022), quienes la señalan como una de las especies más abundantes en los ríos Santa Catarina en Nuevo León y Pitillal en Jalisco, respectivamente. La higuera representa un peligro para los ecosistemas acuáticos de México (CONABIO, 2016) debido a su rápido crecimiento después de disturbios, alta plasticidad fenotípica (Martins *et al.*, 2011) y a sus ventajas competitivas, como la alelopatía para impedir el crecimiento de plantas vecinas (Lavandera *et al.*, 2019) y el ácido ricinoléico para combatir plagas y enfermedades (Camelo *et al.*, 2012).

Ambas especies fueron reportadas por Villareal *et al.* (2006) en los ríos Sabinas y San Rodrigo en Coahuila, por Lavandera *et al.* (2019) en el sitio Ramsar Ecosistema Arroyo Verde Sierra de Álamos Río Cuchujaqui, Sonora, por Mendoza y Quevedo (2019) en el río Metztlán, Hidalgo y por Sampayo-Maldonado *et al.* (2021) en el Río Fuerte, Sinaloa, lo cual comprueba su presencia en otros ríos del país y su amplia distribución en México, así como su carácter invasor en estos hábitats, por lo cual, resulta prioritario controlar dichas poblaciones en los sitios evaluados.

Mendoza-Cariño *et al.* (2023) señalan a *Tamarix aphylla*, *Arundo donax* y *Ricinus communis* como las especies invasoras que históricamente, han causado los mayores daños a los recursos hídricos mexicanos (Castro-López *et al.*, 2019), debido a los altos volúmenes de agua que consumen y a que incrementan la salinidad del agua y el estrés hidrológico en las regiones semiáridas (Whaley *et al.*, 2010).

De acuerdo con el índice de diversidad verdadera de Shannon, los valores obtenidos oscilaron entre 7.91 y 20.93, indicando diversidad media y alta en los tres ríos. A diferencia de estudios como el de Aguilar-Luna *et al.* (2018) y Camacho-Rico *et al.* (2006) donde obtuvieron valores de 1.71 para el río Xaltatempa en Puebla y 5.4 para el río Tembembe en Morelos.

El río que presentó mayor similitud entre tramos fue El Pueblito con el 23%, compartiendo ocho especies entre sí. No obstante, la similitud obtenida entre tramos fue más baja de lo esperado, demostrando cambios importantes en la composición vegetal de cada río, expresando también, el reemplazo de especies típicamente riparias por otras que no lo son, algunas de las cuales resultaron ser exóticas y/o invasoras. Así como mala conectividad con hábitats aledaños, Araujo *et al.* (2013) señalan que sitios con baja similitud se reflejan aislamiento y que mayor similitud indican mejor conectividad con remanentes de vegetación natural.

Los perfiles de vegetación facilitaron la comprensión de la distribución y estructura de la vegetación en los tramos evaluados. En los tramos urbanos se observaron claros extensos, menor cantidad de especies, predominio de herbáceas y alturas menores.

Mientras que, en los tramos naturales se formaron corredores continuos de vegetación, estratos bien definidos, mayor cantidad de especies presentes y el predominio de árboles y arbustos.

La condición de las riberas en los tramos evaluados se clasificó en el rango de buena a muy mala condición, observándose que los tramos urbanos obtuvieron los valores más bajos de RQI, debido a que poseen mayor accesibilidad y son más próximos a asentamientos urbanos, caminos, carreteras, zonas agrícolas y al rastro municipal.

De acuerdo a las estrategias de gestión de González del Tánago *et al.* (2006) estas zonas requieren de medidas de rehabilitación y restauración para reintroducir su funcionalidad hidrológica y ecológica del ecosistema. Díaz *et al.* (2007) indican que las prácticas de manejo deben centrarse en el mantenimiento de la función ecológica y resiliencia, para ello es necesario implementar acciones para conservar las especies o grupos funcionales más importantes. Este estudio revela que se debe priorizar la conservación y reintroducción de las siguientes especies: *Salix humboldtiana*, *Vachellia farnesiana* y *Baccharis salicifolia* en el Río El Pueblito, *Populus alba*, *Salix bonplandiana* y *Heimia salicifolia* en el Río Paisanos, por último, *Alnus acuminata*, *Salix bonplandiana* y *Fraxinus uhdei* en el Río Atoyac.

Por otra parte, la presencia de *Cupressus lusitanica*, incluida bajo la categoría de Protección, de acuerdo con la NOM-SEMARNAT-059-2010, en el tramo natural del TNA, incrementa la importancia de este sitio para garantizar la protección de esta especie y priorizar su conservación.

Igualmente, se deben efectuar acciones de limpieza y rehabilitación en los ríos, tales como eliminar y controlar el vertido de desechos sólidos y líquidos de origen industrial, doméstico y agrícola. Ya que, el Río Atoyac es considerado como uno de los afluentes más contaminadas del país (IMTA, 2005; Rodríguez y Morales, 2014), en su cauce se han detectado más de 50 contaminantes, entre lo que figuran, compuestos y elementos cancerígenos para el ser humano (IMTA 2005; Montero *et al.*, 2006; Sandoval *et al.*, 2009).

IX. CONCLUSIÓN

Esta investigación permitió conocer la condición de las zonas riparias de los ríos El Pueblito, Paisanos y Atoyac, en el año 2022. Los tramos naturales de cada río, presentaron buen estado de conservación, mientras que los tramos urbanos reflejaron un impacto antrópico alto, mostrando cambios evidentes en su composición al encontrarse baja similitud entre tramos, menor riqueza florística y diversidad vegetal, así como mayor presencia de especies exóticas e invasoras. Otra diferencia notable fue que las especies más importantes de los tramos naturales no fueron las mismas a las encontradas en los tramos urbanos. De igual forma, se observaron modificaciones en la estructura vegetal, reflejadas en el predominio de herbáceas, en la ausencia de diferentes estratos y en la distribución aislada de individuos arbóreos.

Finalmente, se hallaron diferencias en la condición de las riberas observándose transformaciones estructurales en la vegetación, tales como disminución en el ancho de las riberas, menor cobertura vegetal, discontinuidad longitudinal y fragmentación del corredor ripario debido a la cercanía de asentamientos urbanos, caminos, carreteras y al desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas. La fragmentación del hábitat provoca efectos negativos en la viabilidad y dispersión de semillas y plántulas, modificando hábitos de crecimiento y reproducción, lo cual ocasiona transformaciones en la estructura, composición y funcionamiento de los hábitats.

De acuerdo al índice RQI, los tres tramos urbanos presentaron estados de las riberas “muy pobres” caracterizados por la degradación alta en los siete atributos evaluados. En contraste, los tramos naturales indicaron estados “bueno y regular”, evidenciando cambios estructurales y funcionales de las riberas, reflejo del impacto antrópico. Este estudio indica que la influencia antrópica modifica los atributos de la vegetación, tales como la riqueza y composición de especies, así como la densidad, cobertura y frecuencia de la vegetación.

XI. RECOMENDACIONES

Es necesario implementar un sistema de monitoreos periódicos que permita detectar de manera eficiente la condición y estabilidad de estas comunidades con la finalidad de intervenirlos para garantizar su conservación. De igual forma, es preciso evaluar otros tramos de los ríos estudiados para obtener listados florísticos más completos, así como integrar otras metodologías para lograr una valoración integral, que incluyan características físico-químicas del agua, macroinvertebrados bentónicos, peces, aves, y aspectos sociales de las comunidades cercanas, por mencionar algunos.

Se espera que esta investigación permita desarrollar acciones de restauración ecológica mediante la reintroducción de especies características de zonas riparias, clasificadas como las más importantes en los tramos naturales, tales como *Salix humboldtiana*, *S. bonplandiana*, *Populus alba*, *Alnus acuminata*, y *Fraxinus uhdei*. Igualmente, es necesario controlar el crecimiento poblacional de especies invasoras como *Arundo donax* y *Ricinus communis*.

Por otro lado, se busca que este estudio contribuya al conocimiento del impacto antrópico en estos ríos y ayude a generar una línea de investigación para el estudio de la diversidad florística y estructural de zonas riparias. Así mismo, se pretende despertar el interés de instituciones y tomadores de decisiones sobre estas comunidades para que brinden los apoyos necesarios para desarrollar más proyectos e investigaciones afines.

XI. FUENTES REFERENCIALES

- Aguiar F. C. y Ferreira M. T. (2005). Human-disturbed landscapes: effects on composition and integrity of riparian woody vegetation in the Tagus River basin, Portugal. *Environmental Conservation*, 32: 30–41. <http://dx.doi.org/10.1017/S0376892905001992>
- Aguilar-Luna J. M. E., Loeza-Corte J. M., García-Villanueva E., y Hernández-Fernández L. A. (2018). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del bosque de galería del Río Xaltatempa, Puebla, México. *Madera y Bosques*, 24(3).
- Alanís-Rodríguez E., Mora-Olivo A. y Marroquin de la Fuente J. S. (2020). *Muestreo ecológico de la vegetación*. Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Al-Chokhachy R., Ray A. M., Roper B. B., y Archer E. (2013). Exotic plant colonization and occupancy within riparian areas of the interior Columbia River and upper Missouri River basins, USA. *Wetlands*, 33(3): 409-420. <https://doi.org/10.1007/s13157-013-0399-8>.
- Araujo C. E., Closset K. D., Gallet M. E., Lenoir J., Rêve M., Hermy M. y Decocq G. (2013). Streams are efficient corridors for plants species in forest metacommunities. *Journal of Applied Ecology*, 50: 1152-1160. doi: 10.1111/1365-2664.12132
- Arechiga J., Esquivel T., Camacho A., Delgado-Rodríguez M. R., Vargas-González P. y Quijas S. (2022). Diversidad florística y estructural de la vegetación riparia a lo largo de un gradiente urbano-natural del río Pitillal, Jalisco, México. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient*, 25 (Supl.1): e2196. <http://doi.org/10.31910/rudca.v25.nSupl.1.2022.2196>
- Belsky A. J., Matzke A. y Uselman S. (1999). Survey of livestock influences on stream and riparian ecosystems in the western United States. *Journal of Soil and Water Conservation*, 54: 419-431.

- Bonilla-Barbosa J. R. (2004). Flora acuática vascular del área focal Felipe Carrillo Puerto, Corredor Biológico Sian Ka'an-Calakmul, Quintana Roo, México. Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. Y025. México D. F.
- Bonilla-Barbosa J. R., y B. Santamaría. (2013). Plantas acuáticas exóticas y trasladadas invasoras. En R. Mendoza y P. Koleff (Eds.), *Especies acuáticas invasoras en México* (pp. 223-247). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Bonilla-Barbosa J. y A. Novelo. (1995). *Manual de identificación de plantas acuáticas del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Cuadernos No. 26. México, D.F. 168 p.
- Bonilla-Guzmán A. C. (2022). Estrategias de diseño urbano sustentable para la recuperación del Río Atoyac, entre Boulevard Atlixco y Prolongación Reforma Sur, Puebla. [Tesis de licenciatura]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Bonvecchi B. E. y Zuleta G. A. (2014). *Sensibilidad ambiental de los cursos de agua y sus áreas de amortiguación el caso del Partido de Luján*. Editorial Dunken.
- Camacho-Rico F., Trejo I. y Bonfil C. (2006). Estructura y composición de la vegetación ribereña de la Barranca del Río Tembembe, Morelos, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 78: 17-31. DOI: 10.17129/botsci.
- Camelo L., Díaz E. A., y Díaz J. E. (2012). *Ricinus communis*. En A. M. Díaz, J. E. Díaz y O. Vargas (Eds.), *Catálogo de plantas invasoras de los humedales de Bogotá* (pp. 125-129). Grupo de Restauración Ecológica de la Universidad Nacional de Colombia-Secretaría Distrital de Ambiente.
- Canizales-Velázquez P. A., Alanís-Flores G. J., Favela-Lara S., Torres-Morales M., Alanís-Rodríguez E, Jiménez-Pérez J. y Padilla-Rangel H. (2010). Efecto de la actividad turística en la diversidad y estructura del bosque de galería en el noreste de México. *Ciencia UANL*: 13(1): 55-63.

- Cao Y. y Natuhara Y. (2020). Effect of urbanization on vegetation in riparian area: plant communities in artificial and semi-natural habitats. *Sustainability*, 12(1):204. <https://doi.org/10.3390/su1201020>
- Carothers S. W. (1977). Importance, preservation, and management of riparian habitats: an overview. En R. R. Jonson y D. A. Jones (Eds.), *Importance, Preservation, and Management of Riparian Habitats: a Symposium*. USDA Forest Service General Technical Report RM-43. Us Government Print Office, Whashington, DC.
- Casiano C., Bressers H. y Gleason A. (2017). Evaluación de la gobernanza de la política de las plantas de tratamiento residual (2013-2016), en la zona centro de México: los casos de Tlaxcala-Zahuapan, Puebla-Atoyac y Presa Guadalupe en el Estado de México. Foro Internacional "Políticas públicas para el desarrollo sustentable, Puebla, México".
- Castro-Díez P. y Álvaro A. (2017). Efecto de las plantas riparias en los ecosistemas ribereños y fluviales: una revisión para la Península Iberica. *Limnetica*, 36(2): 525-541. DOI: 10.23818/limn.36.19
- Castro-González N. P., Calderón-Sánchez F., Moreno-Rojas R., Tamariz-Flores J. V. y Reyes Cervantes E. (2019). Nivel de contaminación de metales y arsénico en aguas residuales y suelos en la subcuenca del Alto Balsas en Tlaxcala y Puebla, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(2), 335-348.
- Castro-López D., Guerra-Cobián V. y Prat N. (2019). The role of riparian vegetation in the evaluation of ecosystem health: The case of semiarid conditions in Northern Mexico. *River Research and Applications*, 35(1): 48-59. <https://doi.org/10.1002/rra.3383>
- Catford J. A. y Jansson R. (2014). Drowned, buried and carried away: effects of plant traits on the distribution of native and alien species in riparian ecosystems. *New Phytologist*, 204(1):19-36. <https://doi.org/10.1111/nph.12951>

- Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA), Fondo de Educación Ambiental (FEA), Presencia Ciudadana Mexicana y Fundación Heinrich Böll. (2006). El agua en México: los que todas y todos debemos saber. México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2012). NMX-AA-159-SCFI-2012, Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas. Diario Oficial de la Federación. 20 de septiembre de 2012.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). Estadísticas del agua en México, Sistema Unificado de Información Básica del Agua.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2019). Plataforma Web de Consulta. Recuperado el 12 febrero, 2023 de: www.enciclovida.mx
- Comité Vive Atoyac. (2018). Diagnóstico para la formulación del Plan Rector para el rescate del Río Atoyac. Ayuntamiento de Puebla.
- Consejo de ciencia y tecnología del estado de Querétaro (CONCYTEQ). (2013). Proyecto: Saneamiento de las Aguas del río El Pueblito. Ciencia, tecnología e innovación en Querétaro. Casos exitosos. Boletín Electrónico Núm. 5. México. CONCYTEQ.
- Contreras-Arquieta, B. A. (2012). Informe Final. Investigación sobre la distribución de la planta invasora *Arundo donax* (carrizo gigante) en la cuenca del Río Bravo. *Pronatura*.
- Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB). (2009). Conferencia de las Partes COP 6, Decisión VI/23: Especies exóticas que amenazan a los ecosistemas, los hábitats o las especies. Disponible en: www.cbd.int/decision/cop/?id=7197
- Correa-Ayram C. A. (2008). Análisis del estado actual de conectividad de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo. *Pérez-Arbelaezia*, (19): 115–139.

- Cotler A. H. (2008). Manejo Integral de Cuencas Hídricas y su aplicación en la salud de los ríos de México. En J. M. Alcocer (Ed.), *Recursos Naturales y Sustentabilidad* (pp. 41-48). Fondo editorial de Nuevo León.
- Cotler H. y Caire G. (2009). Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México. Instituto Nacional de Ecología/WWF/Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P.
- De Cabo L., Malignani E. y Basílico G. (2020). Los indicadores de la calidad de las áreas ribereñas. En De Cabo L., Malignani E. y Basílico G. (Eds.), *La bioindicación en el monitoreo y evaluación de los sistemas fluviales de la Argentina: Bases para el análisis de la integridad ecológica* (pp. 24-38). Eudeba.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (2010). Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de la Región Hidrológica número 18 Balsas, Diario Oficial de la Federación, México.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1988). Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente. Diario Oficial de la Federación. Última reforma 08 de mayo de 2023.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1992). Ley de Aguas Nacionales. Diario Oficial de la Federación. Última reforma 08 de mayo de 2023.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2011). Declaratoria de Clasificación de los ríos Atoyac, Xochiac o Heuapan, y sus afluentes.
- Díaz S., Lavorel S., De Bello F., Quétier F., Grigulis K. y Robson T. M. (2007). Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104: 20684-20689. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704716104>
- Díaz-Pascacio E., Ortega-Argueta A., Castillo-Uzcanga M. M. y Ramírez-Marcial N. (2018). Influence of land use on the condition of the riparian zone along an urban-rural gradient in the Sabinal River, Mexico. *Botanical Sciences*, 96(2): 180-199. <https://doi.org/10.17129/botsci.1858>

- Dixon I., Douglas M., Dowe J., Burrows D. y Townsend S. (2005). A rapid method for assessing the condition of riparian zones in the wet/dry tropics of Northern Australia. En Rutherford I.D., Wiszniewski I., Askey-Doran M. y Glazik R. (Eds.). *4th Australian Stream Management Conference* (pp. 173–178). Launceston, Tasmania.
- Duran P. (2014). La vertebración urbana a partir de las geografías del agua: El paisaje como elemento de identidad. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades, SOCIOTAM*, 24:51-70.
- Ede F. y T. Hunt. (2009). Understanding why weeds flourish in riparian zones. Thinking Bush-Thinking Weeds. *Land and Water Australia*, 8: 14-15.
- Escalona-Domenech R. Y., Infante-Mata D., García-Alfaro J., Ramírez-Marcial N., Ortiz-Arrona C. y Barba-Macías E. (2022). Evaluación de la calidad del agua y de la ribera en la cuenca del Río Margaritas, Chiapas, México. *Rev. Int. Contam. Ambient*, 38:37-56.
- Ferrusquía-Villafranca I. (1993). Geology of México: a sinopsis. En: Ramamoorthy T. P., Bye R., Lot A. y Fa J. (Eds.). *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*, (pp. 3-108), Oxford University Press, Nueva York.
- Finegan B. (1992). El potencial del manejo de los bosques húmedos secundarios neotropicales de las tierras bajas. *CATIE*. Serie técnico No 188. Colección silvicultural y manejo de bosques naturales.
- Garilleti R. (2012). El bosque de ribera: Estructura y metodología de estudio. [Tesis de grado]. Departamento de Botánica. Universidad de Valencia. Recuperado de http://observatoriaigua.uib.es/repositori/snra_espana_7.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: 25-45.
- Gehl J. (2014). *Ciudades para la gente*. Buenos Aires: Ediciones Infinito.

- Gobierno Constitucional del estado de Puebla (2018). Plan rector para el saneamiento del Río Atoyac (2017-2030). Periódico Oficial del estado de Puebla. 05 de junio de 2018.
- Gobierno del Estado de Querétaro. (2016). Paseo Río El Pueblito. Recuperado el 10 de septiembre de 2022.
- Gómez-Monreal D. (2019). Rescate del río paisanos desde la planeación comunitaria y el diseño urbano [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Gómez-Monreal D. P. y López-Mares L. M. (2021). Producción socio natural de los ríos urbanos: planeación comunitaria en el río Paisanos, San Luis Potosí, México. *Sociedad y ambiente*, 24: 1-29. ISSN: 2007-6576
- Gómez-Pompa A. (1966). *Estudios Botánicos en la Región de Misantla, Veracruz*. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A.C., México, D.F.
- González A., Hernández L., Perló M. y Zamora I. (2010). *Rescate de ríos urbanos. Propuestas conceptuales y metodológicas para la restauración y rehabilitación de ríos*. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 111 pp.
- González del Tánago M. y García de Jalón D. (2006). Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la directiva marco del agua. *Ing Civ*, 143:97–108.
- González del Tánago M. y García de Jalón D. (2011). Riparian Quality Index (RQI): A methodology for characterising and assessing the environmental conditions of riparian zones. *Limnetica*, 30:235–254.
- Graf E. y Sayagués Laso L. (2000). *Muestreo de la vegetación. Unidad de sistemas ambientales*, Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica-Montevideo, Uruguay.
- Granados D., Hernández M. y López G. (2006). Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12(1): 55-69.

- Greene S. L. y Knox J. C. (2014). Coupling legacy geomorphic surface facies to riparian vegetation: assessing red cedar invasion along the Missouri River downstream of Gavins Point dam, South Dakota. *Geomorphology*, 204: 277-286. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.08.012>
- Grella C., Renshaw A. y Wright I. A. (2018). Invasive weeds in urban riparian zones: the influence of catchment imperviousness and soil chemistry across an urbanization gradient. *Urban Ecosystems*. 21:505-517. <https://doi.org/10.1007/s11252-018-0736-z>
- Hernández Tapia G. (2017). Ríos urbanos. Análisis de la relación entre el desarrollo urbano y la pérdida de los ecosistemas fluviales. En: Cortés-Lara M.A. (Ed.), *Planeación y desarrollo de tecnología. Visiones sustentables de la vivienda y la transformación urbana*. ITESO, Ciudad de México.
- Hernández-Vargas O., Mancilla-Villa O. R., Palomera-García C., Olguín-López J. L., Flores-Magdaleno H., Can-Chulim A., Ortega-Escobar H. M. y Sánchez-Bernal E. I. (2020). Evaluación de la calidad del agua y de la ribera en dos cuencas tributarias del Río Tuxcacuesco, Jalisco, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 36(3): 689-701.
- Huggenberger P., Hoehn E., Breschta R. y Woessner W. (1998). Abiotic aspect of channels and floodplains in riparian ecology. *Freshwater Biology*, 40: 407-425. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.1998.00371.x>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2005). Estudio de clasificación del río Atoyac, Puebla-Tlaxcala; Informe final; CONAGUA, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2016). Anuario estadístico y geográfico de Puebla, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2002b). Síntesis de Información geográfica del estado de San Luis Potosí.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Estudio hidrológico del estado de San Luis Potosí. Recuperado el 10 de septiembre de 2022, de INEGI: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224097/702825224097.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Anuario Estadístico del Estado de Querétaro.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). (2020). Anuario Estadístico del Estado de Querétaro.
- Integrate taxonomic information System (ITIS) (2022). Recuperado en julio de 2023 de: <https://www.itis.gov/>
- Jacobs J. (2011). *Muerte y vida de las grandes ciudades*. Madrid: Capitán Swing Libros.
- Jansen A., Robertson A., Thompson L., Wilson A. y Watts R. (2007). Rapid Appraisal of Riparian Condition, Technical Guideline for the wool-growing districts of Tasmania. Canberra, Australia.
- Jost L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2): 363–375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Judd W. S., Campbell C. S., Kellogg E. A., Stevens P. F. y Donoghue M. J. (2002). Plant Systematics: A Phylogenetic Approach. Sin-auer, Sunderland.
- Kuglerová L., Kielstra B. W., Moore R. D. y Richardson J. S. (2019). Importance of scale, land-use, and stream network properties for riparian plant communities along an urban gradient. *Freshwater Biology*, 64(3):587-600. <https://doi.org/10.1111/fwb.13244>
- Lavandera Barreras G., Gil León M. E., Mojica Zárate H. T. y Arvizu Valencia R. A. (2019). Presencia de flora exótica en el sitio Ramsar ecosistema Arroyo Verde Sierra de Álamos Río Cuchujaqui, Sonora México. *Conrado*, 15(70): 95-101.

- Lezama J. L. y Graizbord B. (2010). Los grandes problemas de México. El Colegio de México.
- López-Mares L. M., Lozano de Poo J. M, Torres-Silva F., Rodríguez-Santiago J. y López-Fraga J. A. (2019). El ciclo hidro-social de los ríos urbanos: Transformaciones al paisaje hídrico en San Luis Potosí, México. *Revista de ciencias ambientales*, 53(1): 46-69.
- Lot A., Zepeda C. y Mora A. (2015) *Catálogo de flora y vegetación de los humedales mexicanos*. Universidad Nacional Autónoma de México. 172 p.
- Louman B., Quiroz D. y Nilson M. (2001). Silvicultura de bosques latifoliados húmedo con énfasis en América Central. Serie Técnica. Manual Técnico Núm. 46. *CATIE*. Turrialba, Costa Rica.
- Lowe S. J., M. Browne y S. Budlejas. (2000). 100 of the world's worst invasive alien species. Grupo de especialistas en especies invasoras (ISSG) de la CSE/UICN, Auckland, Nueva Zelanda.
- Lowrance R. G., Williams P., Inamdar D. Bosch y M. Sheridan. (2001). Evaluation of coastal plain conservation buffers using the riparian ecosystem management model. *Journal of the American Water Resources Association*, 37 (6): 1445-1455.
- Lynch K. (2015). *La imagen de la ciudad* (3a ed.). Barcelona: Gustavo Gili.
- Magdaleno Mas Fernando. (2013). Las riberas fluviales. *Revista ambiental*, 104: 90-101.
- Magurran A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. Princeton N. J. 179 pp.
- Magurran A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltd, a Blackwell Publishing company.
https://www2.ib.unicamp.br/profs/thomas/NE002_2011/maio10/Magurran_2004_c2-4.pdf

- Mariscal de Souza G. (2019). Estrategias de restauración fluvial de la microcuenca El Pueblito-Joaquín Herrera, Querétaro, México. [Tesis de maestría no publicada]. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Martínez E., Rodríguez P. F., Shruti V. C., Sujitha S., Morales S. y Muñoz N. (2017). Monitoring the seasonal dynamics of physicochemical parameters from Atoyac River basin (Puebla), Central Mexico: multivariate approach. *Environ Earth Sci*, 76-95.
- Martínez M. y García A. (2001). Flora y vegetación acuática de localidades selectas del estado de Querétaro. *Acta Botánica Mexicana*, 54: 1-23.
- Martínez-Rivera L. M., Santana-Castellón E., Iñiguez-Dávalos L. I., Santana-Michel J. F. y Carranza-Montaña A. (2000). Programa de acciones del Ingenio Melchor Ocampo para la Restauración del Río Ayuquila. Universidad de Guadalajara. Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Informe Técnico Final.
- Martínez-Tavera E., Rodríguez-Espinosa P. F., Shurti C. V., Sujitha S. B., Morales-García S. y Muñoz-Sevilla N. P. (2017). Monitoring the seasonal dynamics of physicochemical parameters from Atoyac river basin (Puebla), Central Mexico: multivariate approach. *Environ. Earth Sci*, 76 (2). doi 10.1007/s12665-017-6406-2.
- Martins V. F., Haddad C. y Semir J. (2011). Responses of the invasive *Ricinus communis* seedlings to competition and light. *New Zealand Journal of Botany*, 49(2), 263-279.
- Mata-Balderas J. M., Hernández-Cárdenas S. E., Alanís-Rodríguez E. y Mora-Olivo A. (2020). Riqueza, composición y abundancia de especies en una comunidad vegetal ribereña en el río Santa Catarina, Monterrey, Nuevo León. *CienciaUAT*, 14(2): 6-20. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i2.1248>
- Meli P., Ruiz L., Aguilar R., Rabasa A., Rey J. y Carabias J. (2017). Bosques ribereños del trópico húmedo de México: un caso de estudio y aspectos críticos para una restauración exitosa. *Madera y Bosques*, 23 (1): 181-193.

- Méndez-Toribio M., Zermeño-Hernández I., Ibarra-Manríquez G. (2014). Effect of land use on the structure and diversity of riparian vegetation in the Duero River watershed in Michoacán, México. *Plant Ecology*, 215:285-296. <https://doi.org/10.1007/s11258-014-0297-z>
- Mendoza C. M. y Quevedo N. A. (2019). Lista florística del bosque de galería del río Metztlán, Hidalgo, México. *Acta botánica mexicana*, (126), e1495. <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1495>
- Mendoza M., Quevedo A., Bravo A., Flores H., De la Isla M., Gavi F. y Zamora B. (2014). Estado ecológico de ríos y vegetación ribereña en el contexto de la nueva Ley General de Aguas de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(4): 429-436.
- Mendoza-C. M., Cruz-Flores G. y Mendoza C. D. (2023). Salud de los bosques de galería y de los ecosistemas ribereños. *Madera y bosques*, 29 (1): 1-15.
- Moffatt S. F, McLachlan S. M. y Kenkel N. C. (2004). Impacts of land use on riparian forest along an urban-rural gradient in southern Manitoba. *Plant Ecol*, 174:119-135.
- Montero R., Serrano L., Araujo A., Dávila V., Ponce J., Camacho R., Morales E. y Méndez A. (2006). Increased cytogenetic damage in a zone in transition from agricultural to industrial use: comprehensive analysis of the micronucleus test in peripheral blood lymphocytes. *Mutagenesis*, 21(5): 335–342.
- Mora-Hernández L. D. y Martínez y Díaz de Salas M. (2009). Flora y vegetación acuáticas de dos ríos del municipio de Querétaro y zona conurbana. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Moreno-Jiménez Victorio, Castillo-Acosta Ofelia, Gama-Campillo Lilly, Zavala-Cruz Joel y Ortiz-Pérez Mario Arturo. (2017). Relación de vegetación ribereña y propiedades del suelo en un afluente del río Tacotalpa, Tabasco, México. *Madera y bosques*, 23(1), 91-109. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.231510>

- Municipio de Corregidora. (2015). Plan Municipal de desarrollo: Corregidora. Recuperado de <http://www.corregidora.gob.mx/portal/wpcontent/uploads/2015/12/Plan-Municipal-de-Coregidora-2015-2018.pdf>
- Municipio de Corregidora. (2018). Plan municipal de desarrollo. Recuperado de http://www.corregidora.gob.mx/portal/wpcontent/uploads/2019/01/PLANMUNICIPAL-DE-DESARROLLO_2-2-2.pdf
- 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. *Aquat Conserv Mar Freshw Ecosyst*, 13:147–163.
- 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.
- Naiman R. J. y H. Décamps (1997). The Ecology of Interfaces: Riparian Zones. *Annual review of Ecology and Systematics*, 28: 621-658.
- Naiman R., Décamps H. y McClain M. E. (2005). *Riparia*. Ecology, conservation, and management of streamside communities. USA.
- Ortiz C. I. (2019). Los corredores ribereños en la cuenca del río Ayuquila-Armería en México. Vegetación ribereña y calidad de las riberas. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur.
- Ortiz-Arrona C. I., Gerritsen P. R. W. y Martínez R. L. M. (2008). *Riparian vegetation, stakeholder use and management practices: Elements for restoration based on experiences from the Ayuquila watershed, Mexico*. Proceedings 4th ECRR Conference on River Restoration.
- Osborne L. I. y Kovacic D. A. (1993) Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management. *Fresh water Biology*, 29: 243-258.
- Oyarzún C., Aracena C., Rutherford P., Godoy R., y Deschrijver A. (2007). Effect of land use conversion from native forests to exotic plantations on nitrogen and phosphorus

- retention in catchments of Southern Chile. *Water, Air and Soil Pollution*, 179(1), 341-350.
- Pennington D. N., Hansel J. R. y Gorchoy D. L. (2010). Urbanization and riparian forest woody communities: diversity, composition, and structure within a metropolitan landscape. *Biological Conservation*. 143(1):182-194. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.10.002>
- Peña F. J. (2013). *La sed urbana: la ciudad como construcción hidráulica*. El Colegio de San Luis, A. C.
- Pérez-Castresana G., Tamariz-Flores V., López-Reyes L., Hernández-Aldana F., Castelán-Vega R., Morán-Perales J., García-Suastegui W., Díaz-Fonseca A. y Handal-Silva A. (2018). Atoyac River Pollution in the Metropolitan Area of Puebla, México. *Water*, 10(3): 267. doi:10.3390/w10030267
- Poff B., Koestner K., Neary D. G y Merritt D. (2012). *Threats to western United States riparian ecosystems: A bibliography*. United States Department of Agriculture/Forest Service.
- Polo-Ballinas M. (2014). Los servicios ecosistémicos de los ríos urbanos y su contribución en la adaptación al cambio climático en las ciudades mexicanas. *Investigación ambiental*, 6(1): 43-51.
- Poore M. (1955). The Use of Phytosociological Methods in Ecological Investigations: The Braun-Blanquet System. *Journal of Ecology*, 43(1): 226-244.
- Ramamoorthy T. P., Bye R., Lot A. y Fa J. (1998). *Diversidad Biológica de México: Orígenes y distribución*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ramos-Palacios C. R., López-Mares L. M. y Sánchez-Constante A. L. (2021). Componentes paisajísticos de un río con capacidad de resiliencia en la ciudad de San Luis Potosí, México. *Horizontes y perspectivas del paisaje: Evaluación, Manejo y Restauración Ambiental*, 1:207-227.

- Ramos-Reyes J. C., Treviño-Garza E. J., Buendía-Rodríguez E., Aguirre-Calderón O. A. y López-Martínez J. I. (2017). Productividad y estructura vertical de un bosque templado con incidencia de incendios forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(43): 64-88.
- Raven P., Everard M., Holmes N. y Dawson F. (1996). River Habitat Survey: a new system to classify rivers according to their habitat quality. En P. J. Boon (Ed.), *Freshwater Quality: Defining the indefinable. Scottish Natural Heritage* (pp. 215–234). Stationery Office Books.
- Richardson D. M., Holmes P. M., Esler K. J., Galatowitsch S. M., Stromberg J. C., Kirkman S. P., Pysek P. y Hobbs R. J. (2007). Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. *Diversity and Distributions*, 13(1):126-139. 10.1111/j.1366-9516.2006.00314.x
- Rodríguez E., García D., Pérez M., Torres S., Ortiz R., Pompa M., Morales M., García D., Zamudio E. y Vázquez L. (2016). Caracterización de la calidad ecológica del bosque de galería del río La Saucedá, Durango, México. *Hidrobiológica*, 26(1): 35-40.
- Rodríguez L. y Morales J. (2014). *Contaminación del Atoyac, daños ambientales y tecnologías de mitigación*. Primera Edición. UAM, México.
- Rodríguez-Téllez E., García de Jalón D., Pérez-López M. E., Torres-Herrera S. I., Ortiz-Carrasco R., y Pompa-García M., Morales-Montes M., García-García D., Zamudio-Castillo E. y Vázquez-Vázquez L. (2016). Caracterización de la calidad ecológica del bosque de galería del Río La Saucedá, Durango, México. *Hidrobiológica*, 26: 35–40.
- Romero F., Cozano M., Gangas R. y Naulin P. (2014). Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile. *SciELO*: 3-12.

- Romero M., Piedra L., Villalobos R., Marín R. y Núñez F. (2011). Evaluación ecológica rápida de un ecosistema urbano: El caso de la microcuenca del Río Pirro, Heredia, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 47: 41-70.
- Rosete-Ramírez N., Guevara-Romero M. y Hernández-Sánchez A. (2019). Principios territoriales ordenadores y desequilibrio ecológico en la periferia de Puebla: fraccionamiento Lomas de Angelópolis. *Carta Económica Regional*, 124: 109 - 134. <https://doi.org/10.32870/cer.v0i124.7771>
- Rzedowski J. (1978). *La vegetación de México*. Ed. Limusa, México.
- Rzedowski J. (1978). *Vegetación de México*. Limusa. México, D.F.
- Rzedowski J. (1986). *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México, D.F. 436 pp.
- Rzedowski J. y Rzedowski G. C. (1990). *Flora fanerogámica del Valle de México*. Vol. III. Inst. Ecología, AC Pátzcuaro, Michoacán. 494 pp.
- Rzedowski, J. (1993). Diversity and origins of the Phanerogamic flora of Mexico. En Ramamoorthy T. P., Bye R., Lot A. y Fa J. (Eds.), *Biological diversity of Mexico: origins and distributions* (pp. 129-144.) Oxford University Press.
- Sampayo-Maldonado S., Moreno-Aldaco J. D., Lara-Ponce E. y Piña-Ruíz H. H. (2021). Diversidad y estructura del bosque de galería del río Fuerte, Sinaloa, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(2). e3046. <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.3046>
- Sandoval A. M., Pulido G., Monks S., Gordillo A. J. y Villegas E. C. (2009). Evaluación fisicoquímica, microbiológica y toxicológica de la degradación ambiental del río Atoyac, México. *Interciencia*, 34(12): 880-887.
- Sandoval A., Ávila P., Pablos J. y Pelayo C. (2019). *Estudio sobre protección de ríos, lagos y acuíferos desde la perspectiva de los derechos humanos*. Comisión Nacional de los Derechos Humanos. México.

- Santassusagna A. y Tort J. (2019). Agua y espacio urbano. Algunas consideraciones teóricas a propósito de la relación entre ciudad y río. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 65(2): 371-397. <https://doi.org/10.5565/rev/dag.513>
- Sanz-Elorza M., Dana-Sánchez E. D. y Sobrino-Vespertinas E. (2004). *Atlas de las plantas alóctonas invasoras de España*. Dirección general para la Biodiversidad. Ministerio de medio ambiente, Madrid, 384 pp.
- Sarukhán J., Koleff P., Carabias J., Soberón J., Dirzo R., Llorente J., Halffter G., González R., March I., Mohar A., Anta S. y De la Maza J. (2009). *Capital Natural de México: Conocimiento actual, evaluación y perspectivas de Sustentabilidad. Síntesis*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Schwoertzig E., Poulin N., Hardion L. y Trémolières M. (2016). Plant ecological traits highlight the effects of landscape on riparian plant communities along an urban-rural gradient. *Ecological Indicators*, 61(2):568-576. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.008>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2011). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales, México.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2016). Acuerdo por el que se determina la Lista de las Especies Exóticas Invasoras para México. Diario Oficial de la Federación DCCLIX, Tercera Sección, 07 de diciembre de 2016.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). Norma Oficial Mexicana 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. Diario Oficial de la Federación. 2da Sección, 30 de diciembre de 2010.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-060-ECOL-1994, que establece las especificaciones para

mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal. Diario Oficial de la Federación. 13 de mayo de 1994.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-062-ECOL-1994, que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos sobre la biodiversidad que se ocasionen por el cambio de uso del suelo de terrenos forestales a agropecuarios. Diario Oficial de la Federación. 13 de mayo de 1994.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003, Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar. Diario Oficial de la Federación. 10 de abril de 2003.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). Norma Oficial Mexicana 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. Diario Oficial de la Federación. 2a Sección, 30 de diciembre de 2010.

Sistema Nacional de Inventario Forestal (SNIF-CONAFOR). (2007). Tipos de vegetación forestal y de suelo. <http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/infys>

Solís-Garcés G. (2018). Aportación a la evaluación histórica de la vegetación riparia en el margen del Río Tuxpan, Ver. [Trabajo de especialización] Universidad veracruzana.

Solís-Garza G., Robles-López H. y Castellanos-Villegas A. (2017). Estructura y composición de la vegetación ribereña en zonas áridas. El caso de los Ríos Bacanuchi y Sonora en el Noroeste de México. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, XIX (2): 3-12.

- Soto-Montes De Oca Gloria y Ramírez-Fuentes Alfredo. (2019). Valor de la restauración de ríos cuando se vive cerca y lejos. La Cuenca de Atoyac en Puebla, México. *Tecnol. Cienc. Agua*, 10(1): 177-206.
- Suárez M. L. y Vidal-Abarca M. R. (2000). Aplicación del índice de calidad del bosque de ribera, QBR (Munné *et al.*, 1998) a los cauces fluviales de la Cuenca del Río Segura. *Tecnología Del Agua*, 201: 33–45.
- Thompson, R. M. y Townsend C. R. (2003). Impacts on stream food webs of native and exotic forest: an intercontinental comparison. *Ecology*. 84(1): 145-161. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2003\)084\[0145:IOSFWO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2003)084[0145:IOSFWO]2.0.CO;2)
- Troche C. y Guarachi E. (2001). Análisis del cambio de cobertura y fragmentación del hábitat en el municipio de Independencia. Una propuesta metodológica simple para la identificación de áreas prioritarias de investigación biológica. Centro de levantamientos aeroespaciales y aplicaciones SIG para el desarrollo sostenible de los recursos naturales, CLAS.
- Tropicos. (2023). Missouri Botanical Garden's VAST nomenclatural database and associated authority files. Recuperado el 08 de mayo, 2023 de: <https://tropicos.org>
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (2022). The IUCN Red List of Threatened Species. Recuperado el 08 de mayo, 2023 de: www.iucnredlist.org
- Vázquez-Medrano M. M. (2011). Diagnóstico de la vegetación ribereña en la zona urbana de la cuenca del Río Magdalena, México, D.F. [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/346970>
- Villarreal Q. J. Á., Carranza P. M. Á., Estrada C. E. y Rodríguez G. A. (2006). Flora riparia de los Ríos Sabinas y San Rodrigo, Coahuila, México. *Acta Botánica Mexicana*, (75), 1-20.

- Villaseñor J. L. (2016). Catálogo de las plantas vasculares nativas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87: 559–902.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Villaseñor J. L. y Ortiz E. (2014). Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85:134-142.
- Ward T. A., Tate K. W. y Atwill E. R. (2003). *Visual Assessment of Riparian Health*. Oakland, California.
- Whaley O. Q., Beresford-Jones D. G, Milliken W., Orellana A., Smyk A. y Leguía J. (2010). An ecosystem approach to restoration and sustainable management of dry forest in southern Peru. *Kew Bulletin*, 65(4), 613-641.
<https://doi.org/10.1007/s12225-010-9235-y>
- Winward A. H. (2000). *Monitoring the Vegetation Resources in Riparian Areas*. The Author. Ogden, UT.
- Zermeño-Hernández I., Benítez-Malvido J., Suazo-Ortuño I. y Méndez-Toribio M. (2020). Impact of adjacent land use on the ecological condition of riparian habitats: The relation between condition and vegetation properties. *Appl. Veg. Sci.*, 00:1–12.

XII. APÉNDICES

Apéndice I. Listado florístico de los Ríos El Pueblito, Paisanos y Atoyac

| Familia | Nombre científico | O | FV | ID | TNPu | TUPu | TNPa | TUPa | TNA | TUA |
|----------------|---|---|------|----|------|------|------|------|-----|-----|
| Anacardiaceae | <i>Schinus molle</i> L. | E | A | ✓ | × | × | × | × | | × |
| Apocynaceae | <i>Asclepias curassavica</i> L. | N | H To | | | × | | | | |
| Araceae | <i>Zantedeschia aethiopica</i> (L.) Spreng. | E | H To | | | | | | × | |
| Asteraceae | <i>Ambrosia psilostachya</i> DC. | N | H To | | | | | × | | |
| | <i>Baccharis salicifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers. + | N | Ar | | × | | × | × | × | × |
| | <i>Barkleyanthus salicifolius</i> (Kunth) H. Rob. & Brettell | N | Ar | ✓ | × | | × | | | |
| | <i>Bidens pilosa</i> L. | N | H To | | | | × | | × | |
| | <i>Cirsium raphilepis</i> (Hemsl.) Petr. | N | H To | ✓ | | × | | | | |
| | <i>Parthenium hysterophorus</i> L. | N | H To | | | × | | | | |
| | <i>Pseudognaphalium luteoalbum</i> (L.) Hilliard & B.L. Burt | E | H To | | | × | | | | |
| | <i>Senecio vulgaris</i> L. | E | H EE | | | | | | × | |
| | <i>Tagetes lunulata</i> Ort. | N | H | ✓ | | | × | | | |
| | <i>Tithonia tubiformis</i> (Jacq.) Cass. | N | H | | | | | | | × |
| | <i>Verbesina encelioides</i> (Cav.) Benth. & Hook. f. ex A. Gray * | N | H | | | | | × | | |
| | <i>Xanthium strumarium</i> L. | N | H To | | | × | × | | | |
| | <i>Zinnia peruviana</i> (L.) L. | N | H To | | | | × | | | |
| Betulaceae | <i>Alnus acuminata</i> Kunth + | N | A | | | | | | × | |
| Bignoniaceae | <i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don | E | A | | | | | | | × |
| Brassicaceae | <i>Nasturtium officinale</i> W. T. Aiton * | E | H EE | | × | × | | | | |
| Burseraceae | <i>Bursera fagaroides</i> (Kunth) Engl. | N | A | | × | | | | | |
| Cactaceae | <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill. | N | Ar | | | | | × | | |
| | <i>Marginatocereus marginatus</i> (DC.) Backeb. | N | Ar | | | | | × | | |
| Commelinaceae | <i>Commelina coelestis</i> Willd. | N | H To | | × | × | × | × | × | |
| | <i>Tinantia erecta</i> (Jacq.) Schtdl. | N | H | ✓ | | | | | × | |
| Convolvulaceae | <i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth | N | H To | | | × | × | × | × | |
| Cupressaceae | <i>Cupressus lusitanica</i> Mill. ** | N | A | | | | | | × | |
| | <i>Taxodium mucronatum</i> Ten. + | N | A | | × | | | | | |
| Cyperaceae | <i>Cyperus pseudovegetus</i> Steud. | N | H EE | | × | × | | | | |
| Euphorbiaceae | <i>Ricinus communis</i> L. * | E | H | ✓ | | × | | | | × |
| Fabaceae | <i>Lysiloma divaricatum</i> (Jacq.) J. F. Macbr. | N | A | | × | | | | | |
| | <i>Mimosa aculeaticarpa</i> Ortega | N | Ar | | | | × | | | |
| | <i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. | N | A | | × | | × | × | | |

| | | | | | | | | | | |
|----------------|---|---|------|---|---|---|---|---|---|---|
| | ex Willd.) M.C. Johnst. | | | | | | | | | |
| | <i>Senna multiglandulosa</i> (Jacq.) H.S.Irwin & Barneby | N | Ar | | | | | | | × |
| | <i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.SH | N | A | | × | × | × | | | |
| | <i>V. schaffneri</i> (S. Watson) Seigler & Ebinger | N | A | | × | | | | | |
| Fagaceae | <i>Quercus virginiana</i> Mill. | N | A | | | | | | | × |
| Geraneaceae | <i>Geranium seemannii</i> Peyr. | N | H | ✓ | | | | | | × |
| Iridaceae | <i>Sisyrinchium ensigerum</i> E.P. Bicknell | N | H To | | | | | × | | |
| Juncaceae | <i>Juncus acuminatus</i> Michx. | N | H EE | | | | | × | | |
| Lamiaceae | <i>Agastache mexicana</i> (Kunth) Lint & Epling | N | H | | | | | | | × |
| | <i>Lavandula</i> sp. | E | H | | | | | | | × |
| | <i>Salvia tiliifolia</i> Vahl | N | H To | | | | | × | | × |
| Lemnaceae | <i>Lemna gibba</i> L. | N | H LF | | × | | | × | | |
| Lythraceae | <i>Heimia salicifolia</i> Link + | N | Ar | | × | × | × | × | × | × |
| Nyctaginaceae | <i>Mirabilis</i> sp. | N | H | | | | | | × | |
| Oleaceae | <i>Forestiera angustifolia</i> Torr. | N | A | | × | | | | | |
| | <i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh +. | N | A | | × | | | | × | × |
| | <i>Ligustrum lucidum</i> W.T. Aiton | E | A | | | | | | | × |
| Onagraceae | <i>Epilobium ciliatum</i> Raf. | N | H EE | | | | | × | | |
| | <i>Ludwigia peploides</i> (Kunth) P. H. Raven | E | H TP | ✓ | | | | × | | |
| | <i>Oenothera rosea</i> L'Hér. ex Aiton | N | H | ✓ | | | | × | | |
| Papaveraceae | <i>Argemone mexicana</i> L. * | N | H | ✓ | | | × | | × | × |
| Phytolaccaceae | <i>Phytolacca icosandra</i> L. | N | H | ✓ | | | | | | × |
| Plantaginaceae | <i>Bacopa monnieri</i> (L.) Pennell | N | H EE | ✓ | × | | | | | |
| Poaceae | <i>Arundo donax</i> L. * | E | H EE | ✓ | | | × | | | |
| | <i>Chloris virgata</i> Sw. | N | H | ✓ | | | | | × | |
| | <i>Cenchrus ciliaris</i> L. * | E | H | ✓ | | | × | | × | × |
| | <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. | E | H | ✓ | | | | × | | |
| | <i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka * | E | H | ✓ | | | | × | | |
| | <i>Setaria adhaerens</i> (Forssk.) Chiov. | E | H | ✓ | | | × | × | × | |
| Polygonaceae | <i>Persicaria lapathifolia</i> (L.) Gray * | E | H EE | ✓ | × | × | × | | | |
| Pontederiaceae | <i>Heteranthera reniformis</i> Ruiz & Pav. | N | H TP | | | | × | | | |
| Pteridaceae | <i>Adiantum capillus-veneris</i> L. | N | H | | | | | | | × |
| Resedaceae | <i>Reseda luteola</i> L. | E | H | | | | | | | × |
| Rhamnaceae | <i>Rhamnus humboldtiana</i> Willd. ex Schult. | N | Ar | | × | | | | | |
| Rosaceae | <i>Prunus persica</i> (L.) Stokes | E | A | | | | | | | × |
| | <i>P. serotina</i> Ehrh. | N | A | | | | | × | | |

| | | | | | | | | |
|------------------|---|---|------|---|---|---|---|---|
| Rubiaceae | <i>Bouvardia ternifolia</i> (Cav.) Schltld. | N | H | ✓ | | | | × |
| Rutaceae | <i>Ruta graveolens</i> L. | E | H | | | | | × |
| Salicaceae | <i>Populus alba</i> L. + | E | A | | | | × | × |
| | <i>Salix bonplandiana</i> Kunth + | N | A | | | | × | × |
| | <i>S. humboldtiana</i> Willd. + | N | A | | × | × | | |
| Salviniaceae | <i>Azolla filiculoides</i> Lam. * | E | H LF | | × | | | |
| Scrophulariaceae | <i>Buddleja cordata</i> Kunth | N | A | | | | | × |
| Solanaceae | <i>Nicotiana glauca</i> Graham | E | H | ✓ | | × | | × |
| | <i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav. | N | H | ✓ | | | | × |
| | <i>Solanum nigrum</i> L. | N | H | | | | | × |
| | <i>Solanum rostratum</i> Dunal | N | H | ✓ | | | | × |
| Thypaceae | <i>Typha domingensis</i> Pers. * | E | H EE | ✓ | × | | | |
| Zygophyllaceae | <i>Tribulus terrestris</i> L. | E | H | | | | | × |

TNPu: El Batán, TUPu: Col. Las Flores, TNPa: Mexquitic de Carmona, TUPa: Av. del Sauce, TNA: San Matías Tlalancaleca, TUA: San Martín Texmelucan

Origen (O): Nativa (N), Exótica (E)

Forma de vida (FV): Árbol (A), Arbusto (Ar), Hierba (H)

Clasificación de las hidrófitas: Tolerante (To), Enraizada emergente (EE), Libre flotadora (LF), Tallos postrados (TP)

Indicadora de disturbio (ID)

* Especie considera como invasora en México.

+ Especie riparia

** Categoría de riesgo de extinción de acuerdo a la NOM-SEMARNAT-059-2010 (C): Protegida (Pr)