



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
INSTITUTO DE ECOLOGÍA
BIOLOGÍA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DEL ECOSISTEMA RIPARIO
EN UNA SUBCUENCA DEL SISTEMA CUTZAMALA

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)

P R E S E N T A:

BIÓL. HORACIO ALÁN GÓMEZ MARTÍNEZ

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. HELENA COTLER ÁVALOS
(INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA
Y CAMBIO CLIMÁTICO)

COMITÉ TUTOR: DR. ANTONIO LOT HELGUERAS
(INSTITUTO DE BIOLOGÍA)
DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ
(INSTITUTO DE BIOLOGÍA)

MÉXICO, D.F.

ABRIL 2014.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

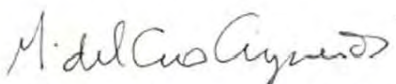
Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Subcomité de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas, celebrada el día 02 de diciembre de 2013, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGÍA AMBIENTAL)** del alumno **GÓMEZ MARTÍNEZ HORACIO ALAN** con número de cuenta **302222841** con la tesis titulada "**Evaluación del Ecosistema Ripario en una Subcuenca del Sistema Cutzamala**", realizada bajo la dirección de la **DRA. HELENA COTLER AVALOS**:

Presidente: DR. JOSÉ MANUEL MAASS MORENO
Vocal: DRA. SILKE CRAM HEYDRICH
Secretario: DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ
Suplente: DRA. MARISA MAZARI HIRIART
Suplente: DR. ANTONIO LOT HELGUERAS

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 24 de febrero de 2014.



DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA
COORDINADORA DEL PROGRAMA

c.c.p. Expediente del (la) interesado (a).

Agradecimientos

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la Beca Nacional otorgada para la manutención.

A la Fundación Packard por el apoyo económico para las salidas de campo, congresos y cursos.

A mi Comité Tutor: Dr. Antonio Lot Helgueras, Dr. Luis Zambrano González y Dr. José Manuel Maass Moreno por el apoyo, confianza e interés para la realización de esta Tesis.

Agradecimientos a título personal

A mi hermosa Universidad y a los Institutos de Ecología y Geología de la UNAM, así como al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, que me brindaron un lugar de trabajo a lo largo de la realización del presente estudio.

A mi asesora Dra. Helena Cotler, que además de ser una gran persona y capaz, siempre me ha apoyado en conocimiento, logística y motivado a su conclusión. Muchas gracias, en serio la estimo y le agradezco todo su tiempo.

A mi familia, que cómo a lo largo de mi vida siempre me han apoyado y demostrado su amor en todos los aspectos, muchas gracias.

Al buen equipo de trabajo del INECC-SEMARNAT: Arturo Pérez Garrido, María Luisa Cuevas Fernández, Carlos Enríquez Guadarrama, que en todo momento me apoyaron, desde la compañía en el tiempo que estuve con ustedes, hasta la generación de insumos y salidas al campo. Cada uno de ustedes son personas muy hermosas y capaces, así como todo un ejemplo a seguir.

A Georgina García Méndez y Luz María Aranda del Instituto de Ecología por todo el apoyo en diversos aspectos que me otorgaron, muchas gracias.

A los miembros del jurado: Dr. José Manuel Maass Moreno, Dr. Antonio Lot Helgueras, Dra. Silke Cram Heydrich, Dra. Marisa Mazari Hiriart y Luis Zambrano González, que bajo sus diferentes ópticas me ayudaron a mejorar y enriquecer éste trabajo.

A los integrantes de la WWF-Monarca: Eduardo Rendón Salinas y Pablo Salazar, así como a la organización Halcón A.C., por su disposición y apoyo a lo largo de mis siete salidas a la Reserva de la Mariposa Monarca, donde por cierto no pude verlas en sus sitios de migración.

A la Unidad de Análisis Ambiental-Facultad de Ciencias y en especial a Manuel Hernández, que siempre estuvo para guiarme en los análisis de suelo.

A los integrantes del Departamento de Botánica, Laboratorio de Vegetación Acuática, Instituto de Biología: Jazmín, Pedro Ramírez, Irina y a Rosalinda Medina, por las enseñanzas en botánica, son unas personas muy valiosas.

A Lilia Jiménez Solís, Dr. Ernesto Rodríguez Reyes y M. en I. Alejandro González, por el apoyo administrativo, de transmisión de videoconferencias y en sí por ser excelentes personas, siempre dispuestas a ayudar.

A Karla que siempre has estado para apoyarme y darme fortalezas en momentos de flaqueza.

A Rocío Sánchez Colín, Mario Salazar Cayetano, Juan Manuel Bautista Quiroz y Elizabeth Chávez García, que me apoyaron y acompañaron en las salidas al campo. Gracias son muy buenos amigos.

A todos los amigos que hice en esta aventura llamada maestría: Elizabeth, Martín, Luisa, Rocío, Mario, Arturo, Lucero, Carolina, Diana, César, Jorge, Eliza, Aslam, Alejandra, Dafne, Armando, Bruno, Pepe y demás personas que compartieron algún momento, les agradezco y estimo mucho.

Índice

	Páginas
Lista de Figuras	i
Lista de Cuadros	ii
Resumen	1
Abstract	1
1 Introducción	2
2 Antecedentes	3
Cuencas hidrográficas	3
Ecosistema ripario	3
Delimitación de los ecosistemas riparios	5
Evaluación de la calidad de los ecosistemas riparios	7
Erosión y retención del suelo	8
Retención de sedimentos por parte del ecosistema ripario	11
Deterioro de los ecosistemas riparios	12
Estrategias de restauración de los ecosistemas riparios	13
3 Objetivos	15
4 Método	16
4.1 Área de estudio	16
4.2 Delimitación de los ecosistemas riparios	20
4.3 Evaluación rápida de la calidad de condiciones ambientales de los ecosistemas riparios	24
4.4 Evaluación de retención de sedimentos	27
4.5 Determinación florística de la vegetación riparia	31
5 Resultados	33
5.1 Evaluación de la calidad de condiciones ambientales de los ecosistemas riparios	35
5.2 Evaluación de retención de sedimentos	46
5.3 Determinación florística de la vegetación riparia. Propuesta de especies para la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca	60
6 Discusión	67

	Delimitación de los ecosistemas riparios	67
	Evaluación de la calidad de condiciones ambientales de los ecosistemas riparios	67
	Evaluación de retención de sedimentos	71
	Determinación florística de la vegetación riparia. Propuesta de especies para la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca	74
7	Conclusiones	82
8	Recomendaciones	83
9	Literatura citada	86
	Anexo I	97
	Anexo II	100
	Anexo III	101
	Anexo IV	103

Lista de Figuras

Figura		Página
1	Servicios ecosistémicos que se desarrollan en los ecosistemas riparios	4
2	Método de la medición de sedimentos con estacas o clavos	10
3	Localización del área de estudio en la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca	16
4	Distribución de las diferentes comunidades vegetales en los diferentes pisos bioclimáticos (Pinto, 2000)	20
5	Esquema de la delimitación de los sitios de estudio, para la evaluación de la calidad	22
6	Esquema de la delimitación de los sitios de estudio, para la evaluación de retención de sedimentos	23
7	Esquema de las formas de valles en los sitios de estudio. a) Somero forma V, b) somero forma U, c) profundo forma V y d) poco desarrollado en planicie (INE, 2010)	24
8	Delimitación de las parcelas, a) vista frontal y b) vista lateral	27
9	Esquema de las parcelas, para determinar los sedimentos retenidos en el ecosistema ripario y en otro uso de suelo	28
10	Subcuencas de estudio en la Reserva de la Mariposa Monarca, Angangueo, Michoacán	33
11	Mapa con los sitios de evaluación de la calidad del ecosistema ripario	35
12	Sitio de evaluación de la calidad en época de lluvias, estación 2	38
13	Sitio de evaluación de la calidad en época de lluvias, estación 3	38
14	Presa de gavión que comienza a alterar el régimen hidrológico. A) Época de lluvias y B) Época de secas	39
15	Sitio de evaluación de la calidad en época de secas, estación 1	41
16	Sitio de evaluación de la calidad en época de secas, estación 5	41
17	Agrupamiento de variables de mayor carga en época de lluvias	43
18	Agrupamiento de variables de mayor carga en época de secas	45
19	Sitios para la evaluación de la retención de sedimentos	46
20	a) Zona riparia. Formas de erosión. b) erosión por flujos de escorrentía, c) pedestales y d) terracetas	47
21	Levantamiento de perfiles de los horizontes superficiales del suelo en cada uno de los 6 sitios evaluados. a sitio 1, b sitio 2, c sitio 3, d sitio 4, e sitio 5 y f sitio 6	49
22	Vista lateral de las estacas con inclinación hacia la derecha. a) Tiempo cero, b)	52

	sedimentación, c) erosión y d) sin cambios aparentes de sedimentación-erosión	
23	Gráfica ombrotérmica y análisis t-student para los cuatro tiempos de mediciones de estacas	53
24	Sitio 1. Prueba de t-student para comparar los dos tratamientos	54
25	Sitio 2. Prueba de t-student para comparar los dos tratamientos	55
26	Sitio 3. Prueba de t-student para comparar los dos tratamientos	56
27	Sitio 4. Prueba de t-student para comparar los dos tratamientos	57
28	Sitio 5. Prueba de t-student para comparar los dos tratamientos	58
29	Sitio 6. Prueba de t-student para comparar los dos tratamientos	59
30	Distribución de frecuencias de las familias de la vegetación riparia	60
31	Distribución altitudinal y por grupos de vegetación riparia sugerida para procesos de restauración en la zona de estudio	66
32	Agrupamiento de sitios según sus diferentes estados de calidad	77
33	Propuesta final de especies riparias según su distribución y el estado de calidad del ecosistema, para emplearse en restauración	79
34	Dimensiones del cauce de corriente y la amplitud de la ribera, en base a la Ley de aguas nacionales	84

Lista de Cuadros

Cuadro		Página
1	Efectos de la diferencia de tamaño de zonas amortiguadoras en relación a su potencial de reducir sedimentos y nutrientes de escurrimientos superficiales (Fuente Norris, 2001)	14
2	Localización y características del área de estudio	18
3	Parámetros que se consideran en la Evaluación Visual de Ríos (USDA y NRCS, 1998)	25
4	Parámetros a evaluar del protocolo visual que se utilizaron en este estudio	25
5	Área y nombre de las subcuencas de estudio	33
6	Número de cauces de corriente y de formas de valles de las dos microcuencas de estudio	34
7	Calificación de cada uno de los parámetros evaluados en la época de lluvias	36
8	Calificación de cada uno de los parámetros evaluados en la época de secas	39
9	Análisis de factores en base a la matriz de época de lluvias. Porcentaje de explicación	42

	de cada <i>Eigenvalor</i>	
10	Análisis de factores, época de lluvias. Explicación de cada factor	42
11	Análisis de factores en base a la matriz de época de secas. Porcentaje de explicación de cada <i>Eigenvalor</i>	44
12	Análisis de factores, época de secas. Explicación de cada factor	44
13	Evaluación modificada en época de lluvias	45
14	Evaluación modificada en época de secas	46
15	Suelo perdido por los diferentes rasgos de erosión	48
16	Rasgos edáficos de los seis sitios	50
17	Densidad aparente en la parte de agricultura de temporal	51
18	Densidad aparente en la parte del ecosistema ripario	51
19	T-student, para las densidades aparentes de cada sitio	52
20	Características de las especies identificadas en el ecosistema ripario	61
21	Cotas altitudinales en las que se distribuyen las especies riparias	63
22	Distribución de las especies riparias	64
23	Distribución de las especies riparias útiles a la sociedad	64
24	Distribución de las especies riparias útiles en restauración ambiental	65
25	Agrupamientos de las especies riparias, según el estado de calidad del ecosistema ripario	77

Resumen

Los ecosistemas riparios cumplen con diversos servicios ecosistémicos, como la regulación de la calidad del agua y la retención de sedimentos. Este último ayuda a mitigar el azolvamiento y en parte la eutrofización de los cuerpos de agua. Sin embargo, actividades como la deforestación, la agricultura y el pastoreo, han acrecentado los procesos erosivos. Esto ocasiona un aumento en la tasa de sedimentos que llegan a los cauces de los ríos y han acelerado los procesos de degradación de la calidad del agua. Debido a esto se evaluó el estado de calidad y la función de retención de sedimentos de los ecosistemas riparios y se identificó la vegetación riparia en ríos de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca (Michoacán), con fines de restauración.

La evaluación del estado de calidad mostró que los órdenes de corriente localizados en la parte alta de la cuenca presentan un mejor estado de calidad que aquellos con mayor influencia humana y permitió identificar los parámetros con mayor influencia en el estado de calidad (régimen hidrológico, apariencia del agua, cobertura del dosel y ancho de la zona riparia). Se confirmó que el ecosistema ripario retiene sedimentos debido a la vegetación riparia y a las condiciones favorables del suelo. Se identificaron siete especies de vegetación riparia, las cuales pueden ser útiles en procesos de restauración ecológica, considerando su distribución altitudinal y el estado de calidad del ecosistema.

Se concluyó que la aplicación del protocolo permitirá conocer el estado de calidad y los sitios que necesiten acciones de restauración ecológica. Mientras que el empleo de la vegetación riparia permitirá la conservación del servicio ecosistémico de retención de sedimentos.

Abstract

Riparian ecosystems comply with various ecosystem services, such as water quality regulation and sediment retention. This last helps mitigate siltation and eutrophication of water bodies. But activities such as deforestation, agriculture and grazing have increased erosion processes. This causes an increase in the rate of sediment that reaches the river banks and accelerated water quality degradation processes. Based on this thesis the health status and sediment retention function of riparian ecosystems and riparian vegetation was assessed in rivers of the Biosphere Reserve of the Monarch Butterfly (Michoacán), for restoration purposes.

The health assessment showed the streams located in the upper part of the basin, have better health than those with higher human influence and help to identify the parameters that influence

health status (hydrological regime, water appearance, canopy cover and riparian zone width). We confirmed that the riparian ecosystem retains sediment due to riparian vegetation and favorable soil conditions. Seven species of riparian vegetation were identified which can be useful in ecological restoration processes, considering their altitudinal distribution and the ecosystem health.

We conclude that the implementation of the protocol will reveal the health status and sites that require ecological restoration actions. While the use of riparian vegetation will allow sediment retention as one ecosystem service.

1. Introducción

Actividades como el pastoreo libre, las prácticas de labranza, la falta de vegetación que cubra el suelo y lo proteja, el establecimiento de poblados en laderas montañosas han contribuido y contribuyen de manera notable al aumento de los procesos erosivos (Baron *et al.*, 2003; Sánchez, 2007). Esto ha ocasionado que se incrementen los sedimentos y por lo tanto estos sean arrastrados hasta los cuerpos de agua ocasionando que se azolven los cauces y presas, además del deterioro de la calidad del agua (Bernad, 2008; Sepúlveda-Lozada *et al.*, 2009). Lo anterior se acrecienta cuando los ecosistemas riparios sufren de algún grado de deterioro, que ocasiona una disminución en la capacidad de amortiguar la contaminación difusa y por lo tanto que la calidad y cantidad del agua se vea comprometida (Sánchez, 2007).

Ante este panorama el manejo adecuado de los ecosistemas riparios podría ayudar a mitigar esta serie de problemas, lo que permitiría el restablecimiento de los servicios ecosistémicos (Granados *et al.*, 2006).

Lo anterior radica en que los ecosistemas riparios tienen la capacidad de regular la calidad del agua, la estabilización de las orillas a través de la red de raíces, de amortiguar la contaminación difusa, retener sedimentos y reciclar nutrientes, entre otros (Granados *et al.*, 2006).

Por lo tanto se necesitan de evaluaciones rápidas y confiables del estado de calidad de los ecosistemas riparios, que incluyan los componentes terrestres e hídricos. Una forma de medir el estado de calidad de los ecosistemas riparios, es a través de protocolos que se ajusten a las condiciones en campo. Aunado a esto, se debe evaluar la capacidad que tienen los ecosistemas riparios, es decir, su vegetación y su suelo, de retener sedimentos, pero de una forma que integre las características del suelo y rasgos históricos de erosión, lo que permitirá tener un acercamiento

y entendimiento más completo del proceso de erosión-sedimentación. Además de tener un conocimiento de las especies riparias y nativas, con las que se puedan llevar a cabo acciones de restauración ecológica (Sánchez, 2007).

Todos estos elementos brindarán las bases para que se puedan emprender acciones de restauración ecológica, en ecosistemas riparios que lo requieran y así poder recuperar las funciones ecológicas que prestan (Holl *et al.*, 2000).

2. Antecedentes

Cuencas hidrográficas

Las cuencas hidrográficas, son áreas en las que convergen las aguas, sedimentos y nutrientes disueltos, formando una red de afluentes que alimentan a un desagüe principal. El término no se restringe al escurrimiento del agua, sino que incluye las interacciones del agua con la superficie (Keefe, 2010). Las cuencas hidrográficas también constituyen el espacio geográfico con “una identidad cultural y socioeconómica originada por las formas de acceso y apropiación de los recursos naturales (Cotler y Caire, 2009).

La topografía y la relación entre la fuerza de gravedad de la Tierra y el flujo del agua, determinan la ubicación y límites de las cuencas hidrográficas.

El flujo de las corrientes en las cuencas hidrográficas comienza con el agua captada de la lluvia desde las partes altas de cada cuenca, mediante un proceso que inicia con la retención inicial del agua del suelo, favorecida por la vegetación presente en la cabecera de una cuenca. El régimen de las aguas corrientes está ligado a las precipitaciones y los cambios estacionales. Por ello, el caudal de los escurrimientos varía a lo largo del año y presenta alternancias entre las crecidas de la temporada lluviosa y el estiaje. Durante el proceso ocurre el arrastre de sedimentos, que es controlada por el ecosistema ripario a lo largo de la cuenca, evitando que los torrentes resulten demasiados erosivos (Mant y Janes, 2006; Sánchez, 2007).

Ecosistema ripario

Los ecosistemas riparios son la interfase entre el ecosistema terrestre y el acuático. A lo largo del paisaje comprenden diversos gradientes ambientales (en la zona de cabeceras crecen bosques o pastos y arbustos; en la zona de transferencia puede haber llanuras de inundación, canales más grandes, y en la zona de desembocadura, se presentan las grandes llanuras de inundación y la

vegetación cambia adaptándose a tales condiciones, como con plantas palustres, flotantes o de libre flotación), procesos ecológicos, comunidades vegetales y funciones ecosistémicas. Dentro de las funciones que realiza el ecosistema ripario, se encuentran el control de la intensidad luminosa y la temperatura del agua y del suelo, la regulación de la calidad del agua, la estabilización de las orillas a través de la red de raíces, proporciona materia orgánica y reduce la velocidad de la corriente del río. Además actúa como amortiguador, de compuestos químicos, retiene sedimentos, recicla nutrientes e interactúa con el agua subterránea porque el manto freático en estas áreas está muy cerca de la superficie del suelo, lo cual permite la interacción de las raíces y los microorganismos con los elementos ajenos al sistema o contaminantes transportados por el agua subterránea (Figura 1. Granados *et al.*, 2006).

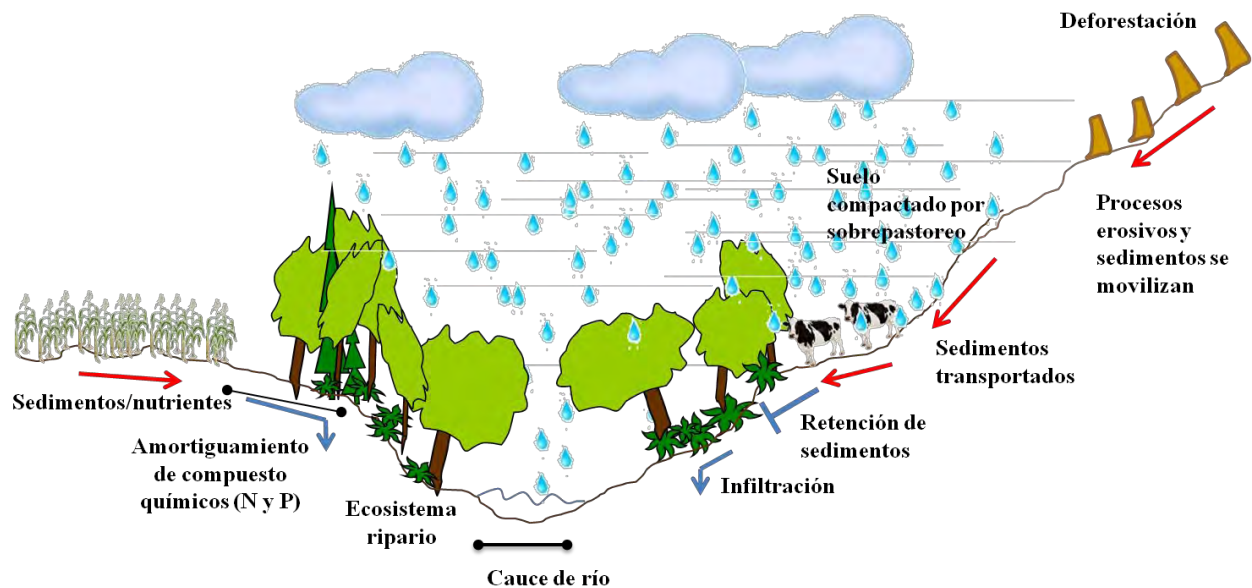


Figura 1. Servicios ecosistémicos que se desarrollan en los ecosistemas riparios

Los ecosistemas riparios albergan comunidades, tanto vegetales como animales, cuya composición suele ser característica y puede incluir taxones endémicos. Esto se debe en parte a los patrones sucesionales, disposición vertical de los estratos y microhábitats definidos por rasgos físicos (Granados *et al.*, 2006), lo que a distintas altitudes pueden presentar diferentes tipos de vegetación y fauna, con historia biogeográfica única y cuya existencia puede estar determinada por las condiciones geomorfológicas y climáticas locales, en cada tramo del río (Sánchez, 2007). El ecosistema ripario puede actuar como corredor para animales a lo largo de la cuenca (Norris,

2001). Muchos de los cuales son especies clave para la estabilidad de estos ecosistemas, como castores, salmones, insectos y cangrejos, que son considerados especies ingenieras del paisaje, ya que controlan directa o indirectamente la disponibilidad de recursos de otros organismos, además de modificar, mantener o crear hábitats (Moore, 2006).

Dentro de las especies vegetales que pueden conformar a la vegetación riparia se encuentran árboles de los géneros *Populus* L. sp., *Quercus* L. sp., *Salix* L. sp., *Pachira* Aubl. sp., *Ficus* L. sp., *Platanus* L. sp., *Taxodium* Rich. sp. y *Alnus* Mill. sp., además de distintas especies arbustivas y herbáceas (Sharitz y Pennings, 2006). La diversidad riparia varía a lo largo del escurrimiento, la humedad, la mayor profundidad de los suelos y topografía lo que a lo largo de las corrientes ocasiona que se puedan distinguir bandas de vegetación, comenzando en el borde del agua y avanzando progresivamente hacia el interior del bosque, se definen bandas sucesivas de vegetación (Granados *et al.*, 2006).

Delimitación de los ecosistemas riparios

Los ecosistemas riparios no son fácilmente delimitables, ni poseen dimensiones absolutas, pero sí se pueden encontrar a lo largo de todo el mosaico paisajístico. Los límites se pueden extender desde el río, hasta fuera de los límites de la zona de inundación (Gregory *et al.*, 1991). Las variables que determinan el desarrollo de los ríos pueden ser climatológicas, litológicas y estructurales, la topografía, área de la cuenca, e historia paleontológica. A su vez estas variables controlan dinámicas en una escala menor, como los estanques y rápidos (saltos y pozas; comunicación personal López-Blanco, 2010) que son determinados por la pendiente, la entrada de sedimentos y los aportes de agua de los afluentes más pequeños. La delimitación de los ecosistemas riparios se realiza mediante niveles jerárquicos, es decir un segmento de cauce de arroyo o río, donde se pueden diferenciar un tramo de cauce de río o estanques/rápidos (cada uno con diferentes características estructurales y funcionales). Un siguiente paso es la delimitación del sistema que se va a estudiar a través de los rasgos geomorfológicos, es decir un tramo de río en función de su posición en el paisaje, el material parental, la pendiente, la forma de los valles (Frissell *et al.*, 1986). Aunado a esto hay que tener en cuenta que el clima (la frecuencia, duración, intensidad de las precipitaciones) y la vegetación, que son otras variables que le dan forma a los ecosistemas riparios. Estos factores también juegan un papel importante en la dinámica de los ecosistemas riparios.

Por otra parte hay que tener en cuenta al momento de delimitar el sitio de estudio, que a lo largo de los escurrimientos se forman arroyos de diferentes órdenes, para lo cual se usa un esquema de clasificación para separar el flujo de las corrientes en unidades significativas. En este esquema, los primeros escurrimientos se denominan de primer orden; los escurrimientos formados por la convergencia de dos o más escurrimientos de primer orden se llaman de segundo orden; cuando se unen dos escurrimientos de segundo orden, forman un escurrimiento de tercer orden, y así sucesivamente (Strahler, 1952). La clasificación de los ríos es muy importante para entender procesos que ocurren temporal y espacialmente en los ríos (Frissell *et al.*, 1986).

La delimitación de la vegetación riparia, se puede observar con la llamada “línea verde”, que no es otra cosa que la demarcación del límite donde llega la vegetación en la época de mayor caudal (bankfull). También hay que mencionar que la vegetación riparia constituye una zona de transición entre los sistemas terrestres y acuáticos, por lo que su delimitación es complicada, ya que además es frecuente que otras especies de comunidades vecinas crezcan en los márgenes de ríos creándose asociaciones vegetales que varían en densidad y diversidad florística (Villarreal *et al.*, 2006; Lot *et al.*, 2012).

Uno de los niveles a los cuales se pueden estudiar los ecosistemas riparios es a través de tramos del propio, el cual puede considerarse como una unidad geomorfológica integrada. A través de éste se pueden estudiar la inclinación lateral a nivel local, el ancho del fondo del valle, la vegetación riparia, los taludes y el fondo del lecho. En zonas montañosas, los tramos presentan complejidad y variabilidad a lo largo de los perfiles, influidos en parte por troncos y ramas que caen a sus orillas, la inclinación del terreno, la inestabilidad de las orillas y los cambios del cauce (Frissell *et al.*, 1986).

Por otra parte los límites hasta donde se extiende la zona de influencia del ecosistema ripario tampoco están definidos, ya que este puede ser visto desde el punto de vista legal, donde en la Ley de Aguas Nacionales, se habla de una zona federal adyacente a los ríos y arroyos, que comprende las fajas de diez metros de anchura contiguas al cauce de las corrientes medidas horizontalmente a partir del nivel de aguas máximas ordinarias. La amplitud de la ribera o zona federal será de cinco metros en los cauces con una anchura no mayor de cinco metros (Ley de Aguas Nacionales, 2013). La delimitación también debe realizarse en función de aspectos ecológicos, como la influencia que tiene la humedad en la zona de transición del caudal con la parte terrestre adyacente, en el desarrollo de la vegetación adaptada a estas condiciones y

recursos, como de los demás organismos que realizan parte de su ciclo de vida en dicho ecosistema.

Evaluación de la calidad de los ecosistemas riparios

La calidad de condiciones ambientales de un ecosistema se refiere al conjunto de propiedades inherentes del mismo que nos permite compararlo con otros, en función de su estado de conservación y del punto de vista que se pretenda estudiar (Ortega *et al.*, 2003).

Una forma de medir la calidad de las condiciones ambientales es a través de protocolos de evaluación. Estos son definidos como el conjunto de indicadores que da un panorama del problema que se presenta en el ecosistema, además permite la identificación de un sitio de referencia. Al realizar el diagnóstico se debe definir la estructura de la vegetación y otros componentes que permitan conocer el sitio, identificar el tiempo del disturbio, e identificar un sitio de referencia, así como caracterizar los gradientes ambientales y la pendiente del terreno (Ramírez, 2010).

Existen diferentes protocolos que evalúan la calidad del ecosistema ripario, como el Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR), propuesto por Munné y colaboradores (1998), donde en cuatro bloques recogen distintos componentes y atributos de las riberas: cubierta vegetal, estructura de la vegetación, naturalidad del bosque ripario, complejidad del bosque ribereño y grado de alteración del canal fluvial. Los valores del índice se distribuyen en cinco intervalos de calidad

(>95: estado natural; 90-75: buena calidad; 70-55: aceptable calidad; 30-50: mala calidad; < 25: pésima calidad). Asimismo el Protocolo para la Evaluación Visual de Ríos, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (1998), evalúa la condición del ecosistema ripario, mediante la calificación de 15 parámetros, en una escala del 1 al 10, como la condición del canal, alteración hidrológica, zona riparia, entre otros.

Al momento de seleccionar el protocolo a emplear, se debe elegir aquel permita adaptarse a las condiciones del sitio y que este acorde con los objetivos del proyecto, como el que sea propicio para que gente de las localidades puedan ejecutarlo, en base a las condiciones físicas de sus tierras (USDA y NRCS, 1998).

Erosión y retención del suelo

La erosión es el movimiento ó translocación de partículas del suelo de un sitio a otro, debido a agentes externos, como las fuerzas del agua, viento y el hielo. Con el tiempo, estas fuerzas pueden degradar el suelo (IDNR, 2006).

La erosión es un proceso natural que ocurre en escalas de tiempo geólogo en cualquier ambiente. Pero también puede ser un proceso inducido o acelerado por efecto de cambios por actividad humana. La inducción o la aceleración inician una vez que el equilibrio morfoclimático es perturbado, es decir, cuando se rebasa un umbral determinado de la erodabilidad (susceptibilidad de un suelo a ser erosionado) del suelo. La actividad humana es el factor más común en desencadenarla.

Una de las formas de erosión en los ecosistemas riparios, ocurre como resultado de los escurrimientos laterales a los márgenes de los cauces. El escurrimiento lateral proveniente de otros usos de suelo, como campos de cultivo, acarrean partículas al ecosistema, que sin una adecuada protección del ecosistema ripario, llegan a las orillas de los cauces a través de los flujos por escorrentía que se formaron y terminan por debilitar los márgenes de los cauces y acarrear sedimentos (IDNR, 2006). El escurrimiento de sedimentos provenientes de campos agrícolas, es uno de los principales problemas de alteración de la calidad del agua, debido a que es una fuente difusa, difícil de identificar y controlar (Ortiz, 2009).

Dentro de los factores que promueven la erosión hídrica, se encuentran de dos tipos:

Externos:

- a) Intensidad de la lluvia, tamaño de las gotas, escorrentía superficial (parcelas), concentración de la escorrentía (cuencas hidrográficas).
- b) Relieve (longitud e inclinación de la pendiente).
- c) Cobertura vegetal (densidad, altura, desarrollo foliar, forma de las hojas, profundidad y densidad de raíces).
- d) Uso y manejo del suelo (tipo de labranza, tiempos de barbecho, manejo de residuos de cosecha, etc.).

Internos:

- a) Textura y pedregosidad
- b) Estructura
- c) Estabilidad de los agregados

d) Velocidad de infiltración

Mientras que las acciones humanas que promueven la erosión son:

a) Deforestación

b) Roturación (arado profundo)

c) Incendios forestales

d) Labranza mal practicada

e) Mal uso o quema de los residuos de cosecha

f) Sobrepastoreo

g) Mal diseño de caminos secundarios

Los sedimentos comprenden toda la materia particulada (orgánico e inorgánica) depositada eventualmente sobre el fondo de un cuerpo de agua. Es común aceptar como una definición técnica, que la materia particulada se refiere a todas las partículas mayores a 0.45 μm . La erosión subsecuente transfiere los sedimentos o partículas del suelo de su punto de origen hacia el interior de los sistemas acuáticos. Durante el transporte los sedimentos son resuspendidos y transportados nuevamente por la actividad intermitente de la lluvia, hasta que llegan a su último punto de depositación al fondo del mar, donde ocurre la acumulación de sedimentos. A este proceso se le denomina sedimentación (Thomas y Meybeck, 1992).

Uno de los procesos que ha incrementado los sedimentos movilizados, es la compactación del suelo, definido como “el proceso por el cual se produce una reorganización de las partículas del suelo, reduciendo el espacio poroso y propiciando un contacto más estrecho entre ellos, aumentando la densidad aparente” (Whalley *et al.*, 1995; SSSA, 1996).

Este problema es considerado el problema ambiental más importante causado por la agricultura (Hamza y Anderson, 2005). Las principales causas son la presión generada por el paso de la maquinaria agrícola, así como el paso constante del ganado (Richmond y Rillo, 2006; Ramírez y Salazar, 2007). La compactación puede tener como consecuencia, la reducción del tamaño y número de poros, que afecta la capacidad de almacenaje y el movimiento del agua en el suelo (Richmond y Rillo, 2006).

Algunas de las formas y métodos de cuantificar la sedimentación producto de la erosión es a través de:

a) **Estaca/clavo/varilla.**

Las estacas también conocidas como parcelas experimentales de clavos de erosión (Figura 2), es un método que corresponde a una medición localizada (Hudson, 1997) y consiste en parcelas rectangulares a las cuales se les instalan “clavos” que marcan la línea inicial del suelo, cuya medición se efectúa luego de ocurrida la tormenta con el objetivo de evaluar la erosión o la sedimentación producida. Lo anterior permite establecer un balance entre pérdidas y entradas de suelo para realizar estimaciones. Otros métodos sugeridos que emplean el mismo principio consisten en pintar líneas por encima del nivel del suelo alrededor de rocas, de raíces de árboles, troncos de árboles o arbustos o de cualquier otro elemento firme y estable. Luego del paso de escorrentías la erosión revelará una banda no pintada por debajo de la línea marcada, indicando pérdida de suelo. Cabe señalar que no son tan precisas para hacer estimaciones (Morales *et al.*, 2010).

Erosión o sedimentación neta = diferencia entre erosión y acumulación medida en todos los clavos de la parcela.

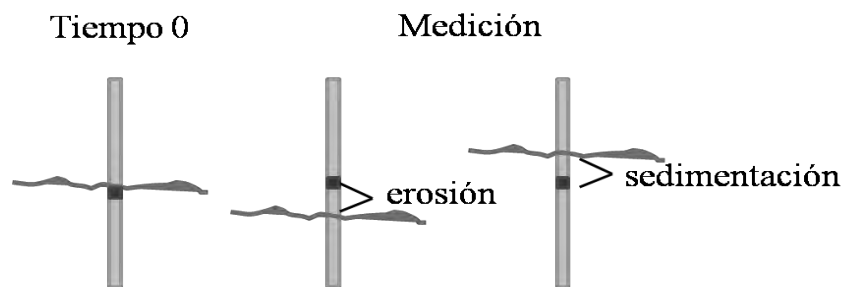


Figura 2. Método de la medición de sedimentos con estacas o clavos

Bajo este método se ha observado que en zonas con pendiente de 30°, en bosques que habían sido talados, la erosión media anual por año era de 13 mm (Hudson, 1997). Otros ejemplos han dado resultados de lo ocurrido después de tormentas intensas, en las que la pérdida del suelo fue de 2.7 mm en la región occidental de Colorado, Estados Unidos (Hudson, 1997). Por otra parte Marín y Desir (2003) examinaron distintos métodos para la cuantificación de la erosión hídrica y encontraron que al emplear estacas tenían tasas de erosión de 81.0 t ha⁻¹ año⁻¹ en una de sus parcelas de estudio, mientras que al usar un perfilador microtopográfico se obtuvo 118.5 t ha⁻¹ año⁻¹ y con métodos dinámicos 100.1 t ha⁻¹ año⁻¹; dichas diferencias están dadas por el error intrínseco de cada método, ya que mientras las estacas presentan un error de ±0.5 mm, con el

perfilador microtopográfico el error es de ± 0.5 cm. Además con las estacas se puede medir erosión-sedimentación, se puede conocer la evolución del microrrelieve y se puede establecer tasas de formación de suelo. En otros estudios al comparar métodos directos para medir la erosión, como el uso de estacas, contra métodos indirectos como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, se observó que los primeros son más precisos, pero laboriosos y requieren de más tiempo, mientras que los segundos son relativamente fáciles de aplicar, pero no tan precisos. Esto se determinó después de estudiar las tasas de erosión en una microcuenca en Nuevo León, México, donde se emplearon estacas o clavos para medir la erosión como método directo y el indirecto con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Pando *et al.*, 2003).

Otros métodos son:

- b) Parcelas delimitadas y tanques receptores.
- c) Mediciones de indicadores de pérdida de suelo, como surcos, cárcavas en terrenos extensos, pedestales y taludes (Stocking y Murnagham, 2003).
- d) Determinación del escurrimiento y de la carga de sedimentos (cuencas hidrográficas).
- e) Evaluación de fotografías aéreas o imágenes de satélite (regional).

Retención de sedimentos por parte del ecosistema ripario

Una de las funciones que se llevan a cabo en los ecosistemas riparios es el amortiguamiento de los procesos erosivos que afectan a las riberas, lo cual se debe en parte a que la vegetación riparia forma un entrelazado con sus raíces que retienen sedimentos provenientes de las laderas adyacentes. La retención de los sedimentos permite que se mitiguen en parte procesos de cambios de estados tróficos, que son ocasionados por el exceso de nutrimentos en el agua provenientes en parte de los campos de cultivo y que generan un desarrollo exagerado de poblaciones de plantas acuáticas de vida corta. Después de muertas, estas plantas dan lugar a procesos de descomposición aeróbicos que consumen gran cantidad del oxígeno del agua y limitan la existencia de otros seres vivos y de sí mismas, pues finalmente reducen la calidad del agua y destruyen el ecosistema (Zambrano, 2003).

Esta capacidad de amortiguamiento del ecosistema ripario, es favorecida por las condiciones biofísicas, que ofrecen ambientes para bacterias desnitrificantes y hongos que disuelven el nitrógeno en nitrógeno atmosférico o en nitratos (Sabir y Mahon, 2009). El nitrógeno puede ser

reducido en 80%, después de pasar por el ecosistema ripario, almacenándose cerca de 25% del nitrógeno por la vegetación riparia (Granados *et al.*, 2006).

Se ha observado que una banda de vegetación riparia de 16 m de largo retiene 50% del nitrógeno y 95% del fósforo, ya que al atravesarlo, los nutrientes son retenidos por adsorción en el sistema radicular (Granados *et al.*, 2006). La vegetación también transforma residuos de pesticidas transportados por escorrentías en componentes no tóxicos, por descomposición biológica y otras formas biodegradables (Bernad, 2008).

Deterioro de los ecosistemas riparios

Desafortunadamente, los procesos de sedimentación se han incrementado por las actividades humanas, hasta el punto en que muchos cuerpos de agua se han degradado severamente.

Este último es el caso de arroyos, ríos y presas de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca. Dentro de los problemas que más la han aquejado están la deforestación, la explotación forestal clandestina y los incendios forestales (CONANP, 2001), los cuales en las últimas décadas han causado severas pérdidas de suelos en áreas montañosas y un aumento en la tasa de sedimentos transportados por los ríos (Baron *et al.*, 2003; Sánchez, 2007). Además los ecosistemas riparios también han sido deforestados, para incrementar la línea agrícola (observación personal), lo que disminuye o elimina la capacidad de retener parte de los sedimentos, que de acuerdo a la literatura presentan estos ecosistemas (Granados *et al.*, 2006).

La pérdida de la vegetación riparia no sólo tiene implicaciones en el ecosistema, sino que también tiene implicaciones sociales, debido a la disminución del acceso al agua en calidad y certeza de su existencia en el futuro (Sánchez, 2007).

Asimismo prácticas de labranza agrícolas han propiciado el desprendimiento de partículas del suelo (Morgan, 2005; FAO, 2012) ocasionando que sean acarreados hasta los cuerpos de agua (López, 2000). Otra de las actividades que más afecta a los ecosistemas riparios en la Reserva de la Mariposa Monarca es el pastoreo extensivo que a su vez incrementa la turbidez en los arroyos aportando nutrientes y microorganismos provenientes de las heces fecales de los animales (Bernad, 2008). En zonas con este tipo de actividad, la erosión de las orillas de los ríos puede contribuir entre un 50% y un 90% a la carga de sedimentos y fósforo al ambiente acuático (Sepúlveda-Lozada *et al.*, 2009).

Todo en conjunto ha propiciado el incremento de procesos erosivos, lo que ha ejercido mayor carga de sedimentos que llegan a los ecosistemas riparios y sobrepasando en muchos casos su capacidad de carga, así como propiciar azolvamientos en ríos y presas (Garrido *et al.*, 2009).

Por lo que estudios que contemplen evaluaciones rápidas y propuestas de restauración de los ecosistemas riparios podría ayudar a mitigar esta serie de problemas, lo que permitiría tanto el restablecimiento de los servicios ecosistémicos, como la conservación de la biodiversidad (Granados *et al.*, 2006).

Estrategias de restauración de los ecosistemas riparios

La restauración ecológica, es referida como el proceso de recuperar integralmente un ecosistema que se encuentra parcial o totalmente degradado, en cuanto a su estructura vegetal, composición de especies, funcionalidad y autosuficiencia, hasta llevarlo a condiciones semejantes a las presentadas originalmente, sin dejar de considerar que se trata de sistemas dinámicos que se encuentran influenciados por factores externos que provocan que las características anteriores varíen dentro de un intervalo a lo largo del tiempo (Holl *et al.*, 2000; INE, 2010). Mientras que la rehabilitación pretende “recuperar elementos estructurales o funcionales dentro de un ecosistema, sin necesariamente intentar completar una restauración ecológica a una condición específica previa” (INE, 2010).

La restauración de los ecosistemas riparios debe considerar una franja de vegetación riparia, lo suficientemente ancha, para poder llevar a cabo diversos servicios ecosistémicos, como el control de la sedimentación (Mant y Janes, 2006). Al respecto, el ecosistema ripario debe tener continuidad, es decir, que no se encuentre fragmentado, para lo cual la densidad de vegetación debe ser la necesaria a lo largo de los cauces de ríos, para evitar los impactos por erosión hídrica. También hay que tener en cuenta, al momento de seleccionar las especies con las que se vaya a restaurar, de utilizar aquellas que sean preferentemente de la región o nativas evitando la introducción de especies exóticas que pueden causar daños irreversibles a la biodiversidad local (Sánchez, 2007) y privilegiar aquellas que tengan una alta densidad y biomasa de raíces distribuidas en el perfil de suelo. Al respecto se ha demostrado que la resistencia a la erosión tiene una relación directa con la densidad de raíces, sin embargo el entrelazado de raíces de zonas boscosas retienen mayor cantidad de sedimentos, en comparación con zonas donde predominan pastos, como lo mostraron Zaines y colaboradores (2005), quienes describieron que las pérdidas

por erosión fluvial son significativamente más altas en cauces con pasto, que con otro tipo de vegetación ribereña.

Las propuestas de las dimensiones que se deben de contemplar, al momento de realizar la estrategia de restauración de la zona riparia pueden ser desde 8 metros hasta 400 metros de ancho (éstas se miden a partir del borde del canal normal de la corriente de agua). Idealmente, el óptimo para un determinado cauce de corriente podría determinarse por su amplitud, topografía, tipo de suelo, régimen hidrológico, clima y, con mayor importancia, por las metas de la política de manejo. Las zonas de amortiguamiento estrechas podrían ser suficientes si se estuviera interesado sólo en el mantenimiento de algunos de los rasgos del ecosistema ripario (Granados *et al.*, 2006). Norris (2001), hace un comparativo, donde incluye el uso de suelo y las dimensiones en amplitud de las zonas contiguas a los cauces de corrientes (Cuadro 1), donde observó que entre más amplia sea la zona de amortiguamiento, más sedimentos se retiene.

Cuadro 1. Efectos de la diferencia de tamaño de zonas amortiguadoras en relación a su potencial de reducir sedimentos y nutrientes de escurrimientos superficiales (Fuente Norris, 2001)

Amplitud de la zona amortiguadora (cm)	Tipo de vegetación	Retención de sedimentos (%)	% en la reducción de nitrógeno	% en la reducción de fósforo
450.75	Pasto	61.0	4.0	28.5
901.5	Pasto	74.6	22.7	24.2
1863.1	Bosque	89.8	74.3	70.0
2253.75	Bosque/pasto	96.0	75.3	78.5
2854.75	Bosque/pasto	97.4	80.1	77.2

Aunado a las consideraciones previas, las acciones de restauración pueden ser reforzadas con obras que estén enfocadas en la retención de sedimentos, para que sean menos los que lleguen a los cauces de los ríos. Estos pueden ser la construcción de presas de morillos que se elabora con troncos; también presas de ramas, que igual funcionan como barreas, controlan el azolve, la erosión y reducen el escurrimiento; presas de geocostales, y presas de llantas. Todas estas obras permiten reducir la erosión hídrica (Cardoza *et al.*, 2007). Este tipo de acciones deben ir acompañadas de esfuerzos de revegetación, para reducir la escorrentía, estabilizar el suelo y taludes, así como retener sedimentos. Una opción pueden ser las gramíneas que disminuyen la

velocidad de las escorrentías, sin embargo, se debe pensar en vegetación riparia del lugar que contemple tanto árboles, como arbustos.

La conservación de los ecosistemas riparios es importante ya que permite mantener el ritmo natural de cambio en los ríos y arroyos, que está íntimamente relacionada con la dinámica del agua; contrariamente su remoción o alteración pueden incrementar los procesos erosivos de manera importante. Además la creación de corredores vegetales a lo largo de los ríos es uno de los medios que permiten restaurar la calidad de las aguas superficiales (Greer, 1978), siempre y cuando esta vegetación sea la apropiada para el lugar.

En este contexto el manejo de los ecosistemas riparios repercutirá en la integridad ecológica y en la capacidad de proveer bienes y servicios ecosistémicos que mejoren la calidad de vida de los habitantes (Cotler y Caire, 2009).

3. Objetivos

Objetivo general

Evaluar el ecosistema ripario a lo largo de algunos ríos ubicados en la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca, Michoacán pertenecientes a una subcuenca del Sistema Cutzamala.

Objetivos particulares

1. Aplicar un protocolo de evaluación rápida de la condición del ecosistema ripario, para evaluar su utilidad e identificar las variables que definen la condición.
2. Evaluar la capacidad del ecosistema ripario, en tramos de ríos seleccionados, para retener sedimentos provenientes ladera arriba.
3. Proponer especies útiles para la restauración de ecosistemas riparios en la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca, a través de la identificación de especies presentes en los ecosistemas riparios.

4. Método

4.1. Área de estudio

El área de estudio se encuentra administrativamente en el estado de Michoacán de Ocampo, en el municipio de Angangueo, en las localidades de la Primera Manzana de Nicolás Romero, que tienen una altitud de 2600 msnm y una población de 361 personas. Mientras que la otra localidad corresponde al Segundo Cuartel de Rondanilla, que tiene una altitud de 2549 msnm y una población de 289 habitantes (PDMA, 2008; Figura 3).

Históricamente Angangueo ha sido un pueblo de origen minero, desde 1792, cuando se descubrió que había minerales como oro y plata (Rojas, 2012). Sin embargo, los residuos del beneficio, de los minerales metálicos y no metálicos, llamados jales, se depositan en una presa, donde se acumula cianuro de sodio (Industrial Minera México, 2005), el cual es peligroso medioambientalmente y para la salud humana (SENAMBI, 2008).

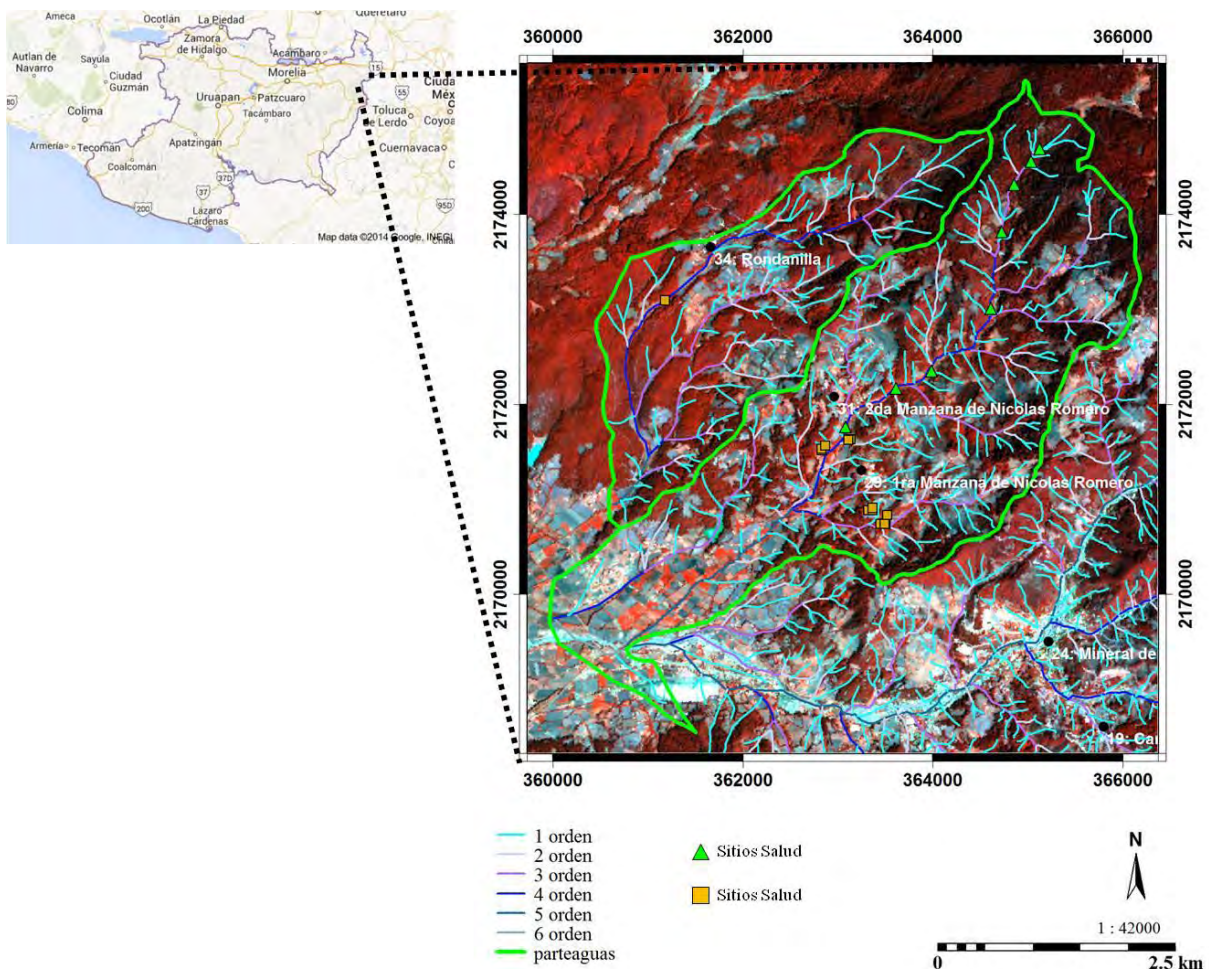


Figura 3. Localización del área de estudio en la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca

Hidrológicamente el área de estudio se localiza en la cabecera de la Cuenca del río Balsas (Garrido *et al.*, 2009), en la subcuenca del río Tuxpan, donde se seleccionaron dos microcuencas que se localizan en la zona oriental de la subcuenca, dentro del área de Ordenamiento Ecológico de la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca (RBMM).

La RBMM, lleva este nombre debido a la migración que realiza la Mariposa Monarca, que es un insecto del orden Lepidóptera y cuyo nombre científico es *Danaues plexippus* var. *plexippus*. Se distribuye desde Canadá, hasta México. Cuando llega a México, se establece entre las cotas de los 2400 a los 3200 msnm en las partes altas de los bosques de oyamel mejor conservados y con laderas de exposición sur o suroeste, del Eje Neovolcánico Transversal, para su hibernación entre los meses de noviembre y febrero. En febrero, con el incremento de las temperaturas y el fotoperíodo, las mariposas comienzan a descender a cotas altitudinales de 2400 msnm en bosques de oyamel, pino, encino y cedro, donde hay mayor disponibilidad de néctar y de agua, condiciones necesarias una vez terminada su hibernación. Las larvas se alimentan de tres especies de plantas: *Asclepia humistrata* Walt., *A. viridis* Walt. y *A. asperula* (Decne.) Woodson. Durante el mes de marzo la Mariposa Monarca comienza su viaje a Estados Unidos y Canadá (CONANP, 2001).

A parte de la migración que realiza la Mariposa Monarca a zonas de esta reserva, la región presenta una serie de rasgos distintivos, como su diferencia altitudinal, que va de los 2400 a los 3600 msnm. El clima predominante es templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual de la región es de 14.8° C, con temperatura máxima de 29.8° C en el mes de mayo y mínima de -1.5° C en el mes de febrero (Datos reportados de 1971 a 2000, SMN, 2012). Mientras que la precipitación media anual es de 824.2 mm, siendo julio el mes que presenta la mayor acumulación de lluvia con un promedio de 335.0 mm, mientras que noviembre es el mes con una menor acumulación de precipitación con un promedio de 44.0 mm (SMN, 2012). Dichas características en conjunto hacen de la zona una región importante para la recarga de los mantos acuíferos, ríos y presas (CONANP, 2001). Esto se debe a que se localiza en la parte centro-occidente de la República Mexicana, en la región del Eje Neovolcánico Transversal, lo que le confiere una topografía muy accidentada, que tiene sus orígenes en el terciario temprano con la mayor actividad volcánica en el mioceno tardío, el plioceno y el pleistoceno. Debido a su origen, la región está formada por cuerpos andesíticos y basálticos. La interacción entre el clima y las formaciones rocosas han propiciado la formación de suelos de tipo Andosoles, asociados

con suelos de tipo Acrisoles y Luvisoles, mientras que en sitios muy puntuales se encuentra el suelo de tipo Litosol (CONANP, 2001).

En la zona las características edáficas como las climáticas han propiciado la formación de una red de escurrimientos que han conducido a la formación de arroyos y ríos (Cuadro 2). Los escurrimientos tienen su origen principalmente en las partes altas de la Reserva, donde predomina una vegetación de bosque de oyamel, pino, encino y cedro (CONANP, 2001). A lo largo de las sierras se forman varios afluentes intermitentes, que se originan de manantiales, que drenan sus aguas a afluentes permanentes (INEGI, 1985). Esta captación de agua es favorecida por su ubicación geográfica donde convergen masas húmedas, provenientes del Golfo de México (a través de “Nortes”) y por una corriente de Chorro proveniente del Pacífico (humedad) provocan abundantes precipitaciones. Los escurrimientos han propiciado la formación de a lo largo de las sierras, de varias cañadas, algunas de ellas muy profundas (INEGI, 1990).

Cuadro 2. Localización y características del área de estudio

Área de estudio		
Localización administrativa	Estado	Michoacán de Ocampo
	Municipio	Angangueo
	Localidades	1° Manzana de Nicolás Romero y 2° Cuartel de Rondanilla
	Ejidos	Angangueo y Hervidero-Plancha
Localización hidrológica	Cuenca	Balsas: 117 405.6 km ²
	Subcuenca	Tuxpan: 1 195.2 km ²
	Microcuencas	1° Manzana de Nicolás Romero y 2° Cuartel de Rondanilla
Características ambientales	Área Natural Protegida	Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca
	Clima	Templado subhúmedo
	Temperatura media anual	14.8° C
	Temperatura máxima	29.8° C, mayo
	Temperatura mínima	-1.5° C, febrero
	Precipitación anual	824.2 mm
	Precipitación máxima	335.0 mm, julio
	Precipitación mínima	44.0 mm, noviembre
	Vegetación	Bosque de oyamel, pino, encino y cedro
Suelos	Andosoles, asociados con suelos de tipo Acrisoles y Luvisoles, sitios puntuales suelo de tipo Litosol	

Pisos Bioclimáticos de la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca

Los pisos bioclimáticos muestran la relación existente entre la variación climática a lo largo de un gradiente altitudinal y la expresión vegetal, así como sus etapas de sustitución. Los pisos bioclimáticos que se reconocen son: mesotropical superior, que va de los 2500 a 2600 msnm; supratropical inferior, que va de los 2600 a 3100 msnm; supratropical superior, que va de los 3100 a 3500 msnm, y orotropical inferior que va de 3500 msnm en adelante (Pinto, 2000). Pinto (2000) encontró en la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca, una particular zonación altitudinal de la vegetación que refleja la variación de las condiciones climáticas. Dicha zonación se relaciona con la sustitución de las comunidades a lo largo de un gradiente altitudinal, además del factor bioclimático y el antrópico.

Las comunidades que se distinguen son:

- *Oxalido alpini-Pinetum hartweggi*. Alrededor de la cota de los 3500 msnm entre los pisos supratropical y el orotropical inferior.

- *Galio uncinulati-Abietetum religiosae*: A lo largo de una franja del gradiente altitudinal (2800 a 3400 msnm), se encuentra distribuida esta asociación que representa la vegetación potencial o cabeza de serie característica del piso supratropical.

- *Geranio seemanii-Baccharidetum confertae*, *Simphoricarpo microphylli-Juniperetum monticolae* y *Trifolio amabili-Bidentetum anthemoidis*: Constituyen distintas etapas sucesionales de los oyameles de la asociación anterior y por lo tanto se distribuyen en un intervalo altitudinal y bioclimático semejante al comentado anteriormente.

Asociación *Cleyerotosum integrifoliae*: Representa una situación mesofítica y de carácter termófilo del oyamel distribuida en el piso supratropical inferior con ombrotipo al menos húmedo.

- *Cestro thyrsoides-Alnetum acuminatae*: En la franja altitudinal inferior considerada en este estudio entre las cotas 2300 y 2600 msnm (piso mesotropical superior subhúmedo-húmedo), se encuentra el bosque de esta aliseda mixta representada por la especie directriz *Alnus acuminata* spp. *arguta*. Esta comunidad es una etapa sucesional hacia la recuperación de los bosques de pino y encino.

- La comunidad de *Pinus pseudostrobus-Quercus laurina*: está representada por el resto de inventarios de difícil adscripción (se ubica bioclimáticamente en el mesotropical superior húmedo).

El esquema del análisis bioclimático y fitosociológico realizado por Pinto (2000), plasma la relación existente entre los pisos bioclimáticos y la expresión vegetal referente tanto a la vegetación potencial como a las etapas de sustitución (Figura 4).

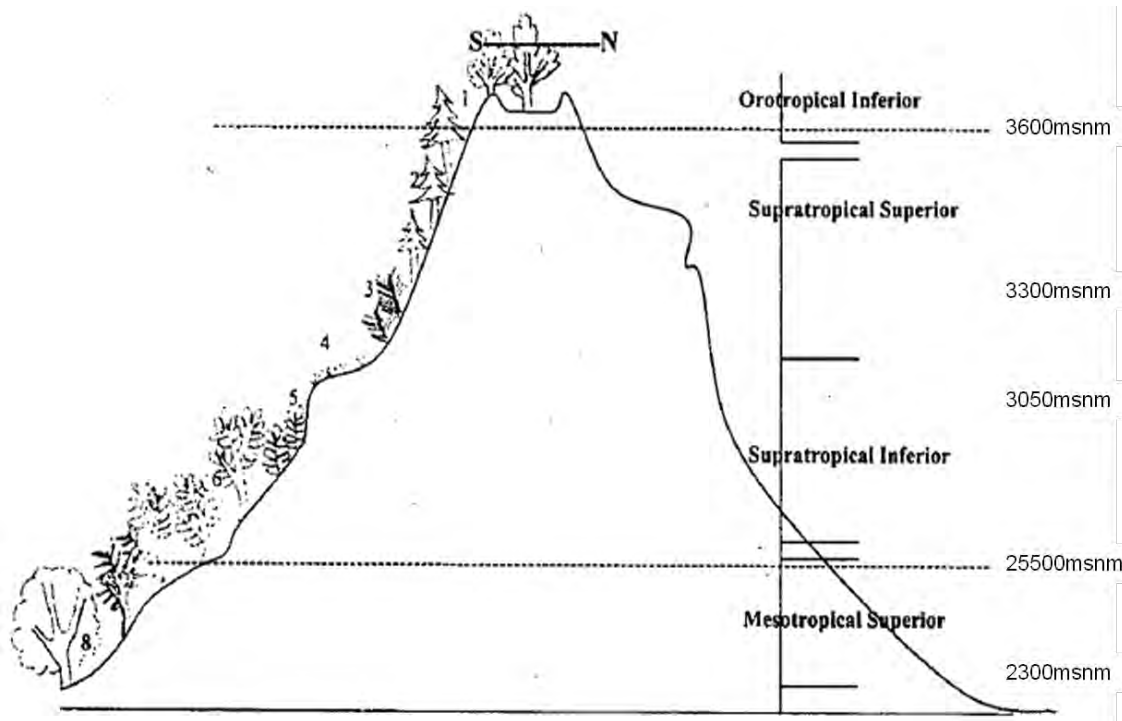


Figura 4. Distribución de las diferentes comunidades vegetales en los diferentes pisos bioclimáticos (Pinto, 2000).

1 *Oxalido alpini-Pinetum hartwegii*, 2 *Galio uncinulati-Abietum religiosae*, 3 *Simphoricarpo microphylli-Juniperetum monticolae*, f. *monticola*, 4 *Trifolio amabili-Bidentetum anthemoidis*, 5 *Geranio seemanii-Baccharidetum confertae*, 6 *Cleyerotosum integrifoliae*, 7 *Pinus psuedostrobus-Quercus laurina*, 9 *Cestro thysoides-Alnetum acuminatae* spp. *arguta*.

4.2. Delimitación de los ecosistemas riparios

La delimitación de los sitios de estudio dentro de la RBMM, se basó en primer lugar en la elección y delimitación de dos microcuencas, que presentan a lo largo de sus áreas los tres pisos bioclimáticos que reporta Pinto (2000) en la RBMM, esto con el fin de poder evaluar la transición vegetal del ecosistema ripario a lo largo de cada una de las comunidades vegetales que se presentan a lo largo del gradiente altitudinal y climático.

La delimitación del parteaguas o línea divisoria de aguas se realizó en base a la cartografía de ríos (escala 1:50 000) y la representación cartográfica de las curvas de nivel. La elaboración de los demás insumos que permitieron definir los sitios de estudio se detallan a continuación:

Pisos bioclimáticos.

Con base en el trabajo realizado por Pinto (2000), se delimitaron los pisos bioclimáticos en función de la altura y el clima, para lo cual se cartografió las cotas altitudinales establecidas en dicho trabajo.

Ordenes de corriente, tipo y forma de valles.

La cartografía de la red de órdenes de corrientes (*sensu* Strahler, 1952), inferidas a una escala de 1:25 000, se realizó teniendo como base la cartografía de ríos de INEGI y la representación cartográfica de las curvas de nivel. Esto permitió diferenciar los diferentes órdenes de corriente en la microcuenca de estudio. Mientras que los tipos y formas de valles se obtuvieron de la capa de valles generada por el INECC, para la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca.

Delimitación de valles con pendiente de 10°-20°.

A partir de la cartografía de las curvas de nivel y de la red de órdenes de corrientes inferidas (1:25 000), se delimitaron los valles de los cauces de corriente de la microcuenca de estudio. Además en base a la geométrica, se calcularon los sitios con pendiente de 10° a 20° de inclinación.

Uso de suelo.

El uso de suelo adyacente a los ecosistemas riparios seleccionado, fue agricultura de temporal. Este se definió con base en la cartografía de Usos de Suelo con escala 1:50 000. En campo se verificó que estas áreas estuvieran en descanso, es decir, que no se estuvieran trabajando.

Una vez definidos y elaborados cada uno de los insumos se procedió a seleccionar los sitios, para la evaluación rápida de la calidad y la retención de sedimentos del ecosistema ripario.

Evaluación rápida de la calidad del ecosistema ripario

La elección de los sitios, para evaluar la calidad de condiciones ambientales en ecosistemas riparios, se realizó en una de las microcuencas delimitadas, a lo largo del cauce de la corriente principal, considerando pasar por todos los pisos bioclimáticos y los diferentes órdenes de corriente.

Los insumos que sirvieron para la delimitación de los sitios fueron:

- Cartografía de la red de órdenes de corrientes inferidas a una escala de 1:25 000.
- Mapa de los límites de los pisos bioclimáticos, según los límites altitudinales establecidos por Pinto (2000).

A partir de estas variables se delimitaron los tramos de cauces de corriente, donde se realizaron las evaluaciones para la calidad del ecosistema ripario (Figura 5).

Evaluación de la retención de sedimentos en el ecosistema ripario

La delimitación de los sitios, para evaluar la retención de sedimentos, se hizo de manera transversal a la corriente principal atravesando dos pisos bioclimáticos. Los sitios estuvieron caracterizados por valles con pendiente de 10°-20° ya que en México 65% de las laderas tiene pendientes mayores a 10% y es donde se ve afectado más por la erosión hídrica (Pando *et al.*, 2003), cauces de corriente de orden 2 y 3, así como zonas con agricultura de temporal (Figura 6).

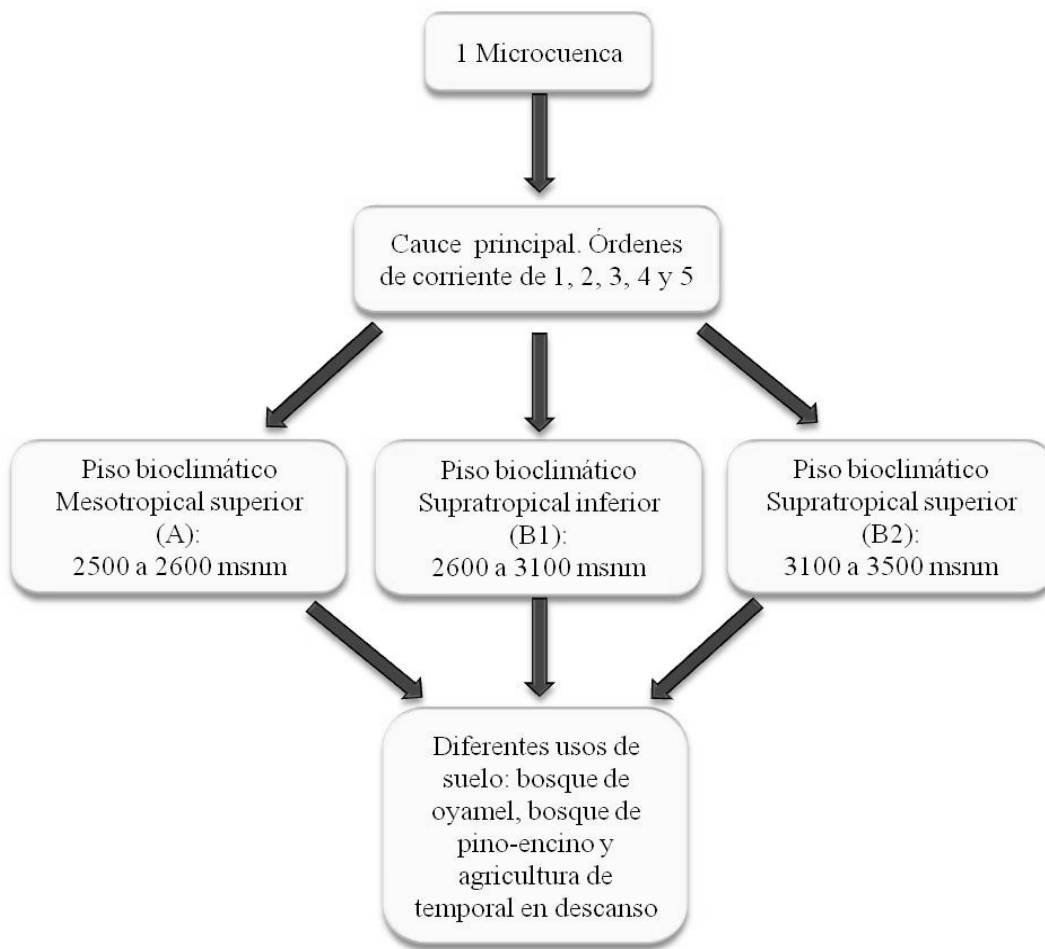


Figura 5. Esquema de la delimitación de los sitios de estudio, para la evaluación de la calidad

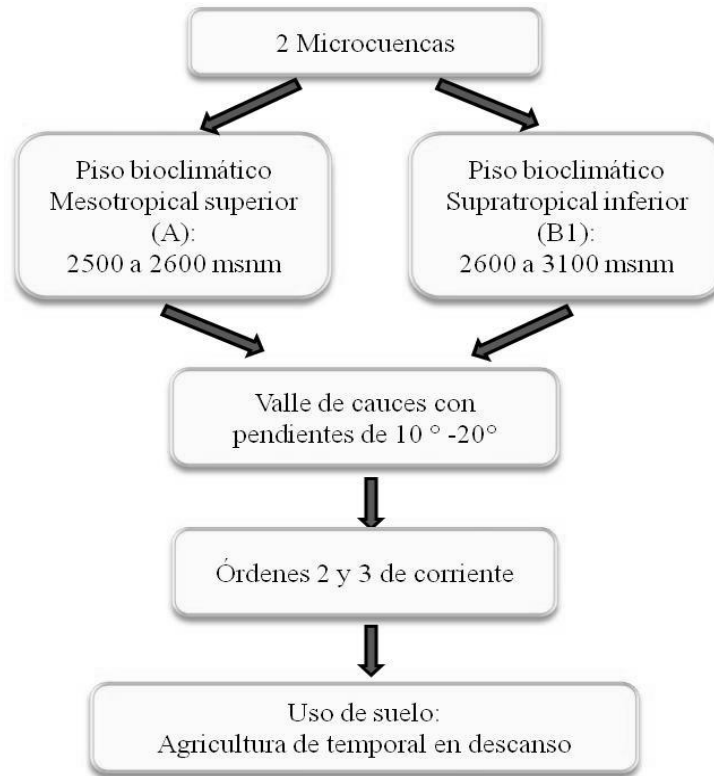


Figura 6. Esquema de la delimitación de los sitios, para la evaluación de retención de sedimentos

La elección de cauces de corriente de orden 2 y 3, responde a la fuerte influencia de estos con los ecosistemas riparios, donde la vegetación contribuye a acumular grandes cantidades de sedimentos y detritus (Vannote *et al.*, 1980). Además dependen, como fuente de materia y energía, de las entradas de sedimentos y detritus orgánicos desde los sistemas terrestres que los rodean y por lo tanto son sistemas muy sensibles a los cambios del uso de suelo (Vannote *et al.*, 1980; Mancilla *et al.*, 2009). La elección de dichos órdenes de corriente obedeció también a que en la zona de estudio, después de los cauces de primer orden, que son en su mayoría intermitentes, son los de mayor frecuencia.

La elección del uso de suelo de agricultura de temporal en descanso, obedeció a que en estas zonas es donde se transporta más sedimentos debido a los procesos de erosión que ocurren en estos sitios. Lo anterior ocurre debido al escurrimiento lateral, proveniente de los campos de cultivo, donde la lluvia acarrea las partículas sueltas y estas llegan al ecosistema ripario, que sin una cubierta vegetal, que sea capaz de retener el sedimento, llega hasta las orillas de los cauces y finalmente a los cuerpos de agua, donde terminan por alterar la calidad del agua, debido a que es una fuente difusa de difícil control (IDNR, 2006; Ortiz, 2009).

A partir de estas variables se delimitaron los tramos de cauces de corriente, donde se realizaron las evaluaciones de retención de sedimentos (Figura 6).

4.3. Evaluación rápida de la calidad de condiciones ambientales de los ecosistemas riparios

Se seleccionaron ocho sitios para la evaluación y se enumeraron en orden ascendente de la parte alta de la microcuenca a la parte baja de la misma. Los tramos tenían una longitud de 50 m.

En cada uno de los tramos evaluados se midió el ancho y la profundidad del canal activo (centímetros), la pendiente en dirección del cauce y la pendiente del valle, además de establecer la orientación de la dirección del cauce. Se confirmó la forma del valle (Figura 7), con formas en “somero en forma de V”, “somero en forma de U” “profundo en forma de V”, y “poco desarrollado en planicie”.

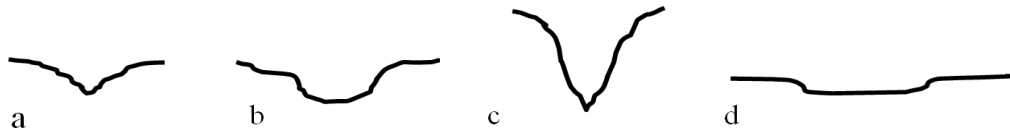


Figura 7. Esquema de las formas de valles en los sitios de estudio. a) Somero forma V, b) somero forma U, c) profundo forma V y d) poco desarrollado en planicie (INE, 2010)

Las mediciones longitudinales se realizaron con una cinta métrica, mientras que la medición de las pendientes se realizó con un clisímetro. Los sitios seleccionados se ubicaron espacialmente, con un equipo de Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés).

Para la evaluación de la calidad del ecosistema ripario, se empleó el Protocolo para la Evaluación Visual de Ríos, de la United States Department of Agriculture y Natural Resources Conservation Service (siglas en inglés, 1998), que evalúa la calidad de condiciones ambientales del ecosistema ripario. La evaluación estuvo compuesta de tres etapas.

Durante la primera etapa se modificaron y comprobaron en campo, algunas variables del protocolo, para adecuarlo a las condiciones del área de estudio, por lo que se realizaron dos salidas al área de estudio. En ese sentido se mantuvieron algunos parámetros que se adaptaron a las condiciones del sitio, mientras que otros fueron retirados del protocolo debido a que evaluaban variables que consideraban la presencia de peces nativos y su cobertura en porcentaje dentro del caudal, pero en la zona no hay registro de peces en estado natural, según comentarios de los pobladores de la zona, por más de 50 años y en base a documentos oficiales de la zona

(CONANP, 2001), solamente en criaderos. Además de salinidad, la cual sólo se considera evaluarla en zonas áridas y en zonas que tienen altos requerimientos de riego. Mientras que los macroinvertebrados observados, requiere del conocimiento de ciclos de vida de algunos insectos acuáticos y otros macroinvertebrados, además de la capacidad de identificación, sin embargo sí se consideraron los hábitats potenciales de invertebrados (USDA y NRCS, 1998). En otro caso se desglosó el criterio que analizaba el parámetro de zona riparia, en ancho de la vegetación riparia y vegetación riparia, ya que por un lado el ancho del ecosistema ripario cumple con diversos servicios ecosistémicos, mientras que en la vegetación riparia se contempló a las especies nativas y su diversidad ecológica.

Los parámetros que contempla la evaluación completa propuesta por la USDA y NRCS (1998) son los siguientes (Cuadro 3):

Cuadro 3. Parámetros que se consideran en la Evaluación Visual de Ríos (USDA y NRCS, 1998)

Parámetros obligatorios	Parámetros opcionales
Condición del cauce	Presencia de estiércol
Alteración hidrológica	Presencia de rápidos y saltos
Zona riparia	Salinidad
Estabilidad del talud	Cobertura del dosel
Apariencia del agua	Macroinvertebrados observados
Enriquecimiento de nutrientes	Cobertura de peces dentro del río
Barreras contra el movimiento de peces	Hábitat de invertebrados
Estanques	

Por otra parte la evaluación consideraba parámetros obligatorios y opcionales, sin embargo en el protocolo final, las variables elegidas son obligatorias. El protocolo con las modificaciones realizadas se presenta a continuación (Cuadro 4):

Cuadro 4. Parámetros a evaluar del protocolo visual que se utilizaron en este estudio

Condición del cauce	Enriquecimiento de nutrientes	Presencia de estiércol
Régimen hidrológico	Cobertura del dosel	Estanques
Estabilidad del talud	Ancho de la vegetación riparia	Presencia de rápidos
Apariencia del agua	Vegetación riparia	Hábitat de invertebrados

En negritas los parámetros adicionados

La segunda etapa del protocolo, consistió en una caracterización del área a evaluar, a través de la esquematización del perfil del tramo del río y una descripción ambiental de la zona de estudio. El área riparia que se consideró incluía los taludes y laderas de montañas que presentaran una influencia de la humedad.

En la tercera etapa se realizó la evaluación que consistió en calificar los parámetros, en una escala del 1 al 10. Los indicadores usados para calificar cada parámetro y el formato usado en la toma de datos se encuentran detallados en el Anexo I. Cabe señalar que para la calificación del parámetro *Vegetación riparia*, previamente se identificaron las especies riparias de cada sitio y el número de individuos de cada especie (véase 5.4. determinación florística de la vegetación riparia), con lo que se calculó la abundancia proporcional de cada especie, es decir, el número de individuos de la especie; dividido entre el número total de individuos de la muestra (Moreno, 2001), para poder calcular el índice de diversidad de Shannon-Wiener. Una vez obtenido el índice en cada sitio se le asignó una calificación, mediante una ponderación de los índices obtenidos (Anexo II).

Para la calificación final, se promedian los valores obtenidos en los diferentes parámetros considerados y se compara con una escala de calificación, para determinar la calidad del ecosistema ripario:

Calificación total	0-2.9	Muy malo
	3.0-5.9	Deficiente
(Total dividido por el número de parámetros):	6.0-7.9	Regular
	8.0-8.9	Bueno
	9.0-10.0	Excelente

Las evaluaciones se llevaron a cabo en dos temporadas, de lluvias en el mes de agosto y en secas en el mes de marzo.

Por otra parte se realizó un análisis de factores bajo el método de extracción de componentes principales, para distinguir cuáles son los parámetros que más influyen en la evaluación en cada temporada (lluvias y secas). Para dicho fin se construyó una matriz de los parámetros evaluados *versus* los sitios de estudio, para cada época del año.

4.4. Evaluación de retención de sedimentos

Con el fin de evaluar la sedimentación hacia el ecosistema ripario, se seleccionaron en gabinete 10 sitios, pero debido a la complejidad de localizar zonas en campo que cumplan con las variables contempladas, sólo se eligieron seis sitios para evaluar la retención de sedimentos.

En cada sitio se establecieron tres parcelas con dimensiones promedio de 4 x 2 m. Las parcelas se ubicaron de tal forma que abarcaran tanto al ecosistema ripario como el otro uso de suelo adyacente (agricultura de temporal en descanso). Se procuró no establecer las parcelas en caminos, veredas o brechas, que son zonas de afluencia por la gente de la localidad.

La disposición de las parcelas se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Delimitación de las parcelas, a) vista frontal y b) vista lateral

Dentro de cada parcela se colocaron 10 estacas de 20 cm de largo por 2.54 cm de diámetro, de manera perpendicular al suelo (García-Chevesich, 2010b), enumeradas del 1 al 10. Dichas estacas fueron marcadas por la mitad (10 cm), para que la marca coincidiera con la superficie del suelo, la cual delimitó la altura inicial del suelo (tiempo cero). Las estacas se colocaron de manera aleatoria en cada parcela (Figura 9).

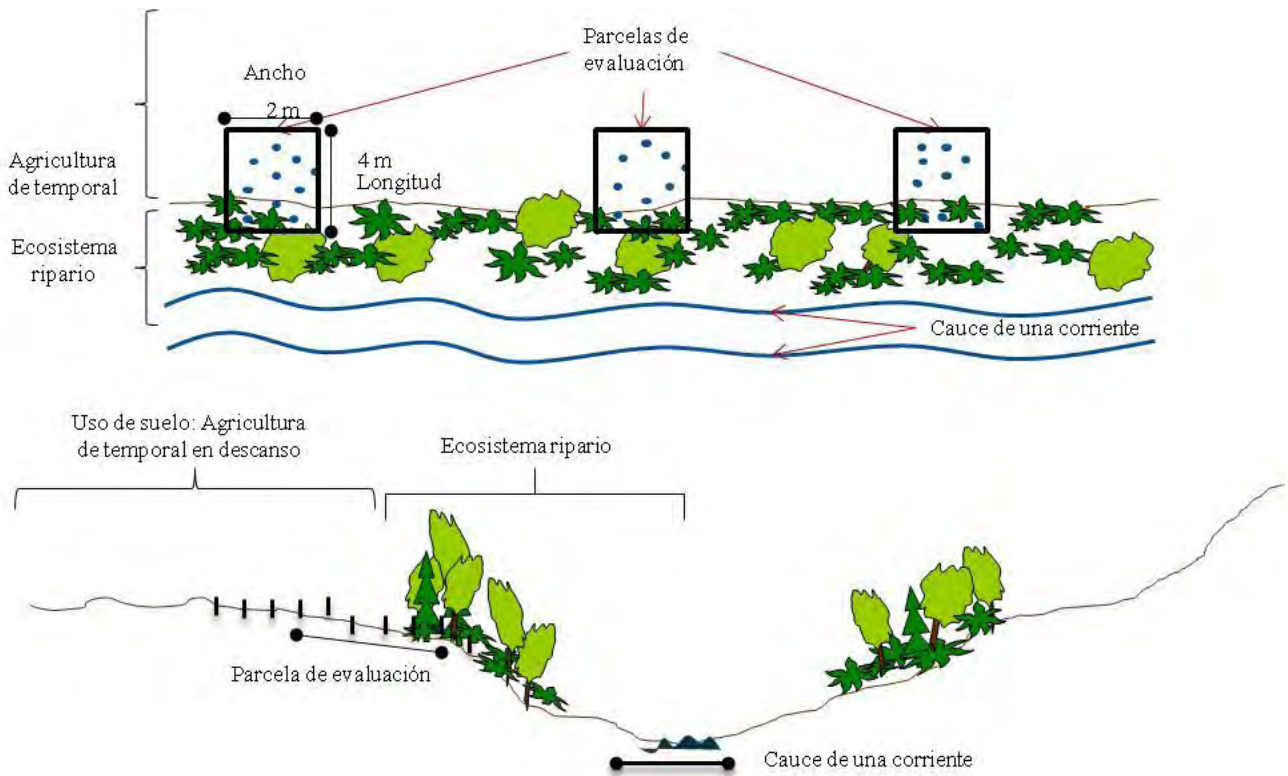


Figura 9. Esquema de las parcelas, para determinar los sedimentos retenidos en el ecosistema ripario y en otro uso de suelo

Se realizaron mediciones a partir de las marcas de las estacas al nivel del suelo, para observar si se retiene sedimento o en su defecto se pierde suelo. Las mediciones se realizaron en los meses de agosto, diciembre, marzo y junio, con el fin de realizar las evaluaciones durante la época de lluvias, al final de la época de lluvias, en época de secas y al inicio de la época de lluvias.

Para analizar cada uno de los sitios se realizó una prueba de t-student, donde se compararon las mediciones del ecosistema ripario contra las mediciones de la parcela agrícola. Además se realizó otra prueba de t-student, para analizar todas las mediciones de los seis sitios tanto del ecosistema ripario como de la parcela agrícola, para observar si hay diferencias entre ambos tratamientos.

En todas las pruebas se empleó el programa Statistica 8.

Caracterización de suelo superficial

En cada uno de los seis sitios de estudio, se realizó una caracterización del suelo superficial. Para determinar el patrón del suelo superficial, caracterizándolo y presentándolo de forma entendible e

interpretable, con el fin de conocer su variabilidad, registrando las diferencias de un lugar a otro (Siebe *et al.*, 2006; Siebe y Cram, 2010).

Además para llevar a cabo el reconocimiento en general del terreno, se tomó la siguiente información del sitio:

- Localidad: Sitio (estado municipio), número de mapa topográfico ó área utilizada y escala, coordenadas del sitio, altitud, fecha, nombre del autor de la descripción.
- Clima y estado del tiempo: clima; temperatura anual media, mínima y máxima; precipitación media anual, duración de época de secas (meses). Duración y frecuencia de periodos de humedad excesiva.
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción.
- Uso de suelo (agrícola, forestal, de pastoreo).
- Tipo de cultivo o cobertura (especies dominantes).
- Descripción del relieve: Exposición u orientación, pendiente, forma de la vertiente (perfil y superficie), posición fisiográfica (geomorfología local y posición en el relieve), microrelieve y rasgos de erosión.

Con respecto a la caracterización de los horizontes superficiales se recabaron datos en campo de: espesor de cada horizonte superficial, textura, pedregosidad, color y estructura.

Se obtuvieron muestras de suelo sin perturbar para la determinación de la densidad aparente y el porcentaje de humedad, de cada una de las tres parcelas en la parte de agricultura de temporal y del ecosistema ripario, que se estudiaron por sitio, mediante cilindros (anillos) de 97.3 cm³ en promedio de volumen. En cada parcela se obtuvieron tres muestras de suelo. En total por sitio se obtuvieron nueve muestras. Las muestras se conservaron frescas, para no perder la humedad actual y poder calcular el porcentaje de humedad del suelo.

La humedad se calculó, mediante diferencia de pesos de las muestras de suelo obtenidas. Para lo cual se obtuvo el peso fresco y el peso seco de las muestras (Porta, 2003).

Para obtener el peso seco, se secaron las muestras de suelo a 105°C en estufa, durante 48 horas. Para posteriormente enfriarlas y secarlas en desecador, por 24 horas de acuerdo con Siebe y colaboradores (2006).

La densidad aparente se obtuvo mediante el cociente de la masa seca y el volumen del cilindro:

$$\text{Densidad aparente} = \text{masa suelo seco} / \text{volumen del suelo (+poros)}$$

Todos los datos recopilados tanto de la caracterización del suelo superficial, los indicadores de pérdida de suelo dentro de las parcelas, el número de los anillos de densidad aparente y los datos y esquemas del establecimiento de las estacas para medir la retención de sedimentos se agruparon en un formato de campo diseñado para estos fines (Anexo 4).

Para determinar si hay una diferencia significativa entre la densidad obtenida en la parte del ecosistema ripario *versus* la agrícola de temporal se realizaron pruebas de t-student.

Rasgos de erosión

La erosión de suelo es un proceso complejo, espacial y temporal. La estimación de su intensidad se realizó a través de rasgos de erosión visibles en el terreno, como flujos de escorrentía pedestales y terracetos. Para dicho propósito se empleó el Manual para la Evaluación de Campo de la Degradación de la Tierra (Stocking y Murnagham, 2003), que reúne diversos indicadores que conducen a la cuantificación e interpretación de los rasgos de erosión observados en campo.

Las evidencias de erosión se describieron en el formato de campo para evaluar la retención de sedimentos (Anexo III). Los indicadores que fueron utilizados y la manera de emplearse se indican a continuación:

Pedestal de erosión

Cuando hay procesos de erosión hídrica, el suelo que se encuentra cubierto ya sea por piedras o por la raíz de un árbol, se encontraría protegido quedando pedestales aislados cubiertos por el material resistente en el terreno circundante. La erosión del suelo circundante demuestra que esta es principalmente el resultado del impacto de las gotas de agua, más que de una corriente de superficie. Se puede deducir aproximadamente la profundidad del suelo que ha sido erosionado mediante la medición de la altura de los pedestales (Hudson, 1997). Para ello se midió usando una regla y se consideró que la tapa (piedra, roca) que lo protege era la superficie original cuando se inició la erosión. La medición se realizó desde la base de la piedra o el material que cubre el pedestal, a la base del mismo (pedestal), donde se encuentra la superficie del material erosionado circundante. La diferencia entre la altura del pedestal y de la superficie del suelo representa el suelo perdido desde que el suelo fue perturbado (arado, u otras actividades agrícolas). Para esta medición es necesario tomar varias mediciones de pedestales, ya que se expresa la erosión general como un promedio de estas alturas.

Erosión por flujo de escorrentía

Este rasgo mide el movimiento del suelo a través del campo, cuando las partículas finas (sedimento) son transportadas por el agua dejando evidencias de flujos de escorrentía. Se mide calculando el porcentaje del suelo dentro de cada parcela que presenta rasgos de este tipo de erosión, siendo el 100% el área de la parcela.

Pérdida de suelo por terracetas

La medición se realiza obteniendo el volumen de suelo perdido. La medición permite comparar el nivel superficial del suelo circundante con el nivel del suelo de las terracetas. Para calcularlo se obtiene la altura de la terracetas, el ancho y el ángulo de la pendiente del lugar. Al ángulo de la pendiente se calcula su cotangente y para poder obtener el largo de la terraceta. Con estos datos es posible calcular el volumen de suelo perdido. Se hacen varias mediciones de todos los desprendimientos en la parcela, y se obtiene un promedio.

Todos los rasgos de erosión se recopilaron mediante un formato de campo en cada una de las parcelas. Se registraba el número de terracetas, pedestales y el porcentaje del suelo afectado por flujos de escorrentía, así como sus medidas. Posteriormente se obtuvo el volumen de suelo perdido por parcela por m^3 , considerando su superficie y con la densidad aparente se estimó el peso de suelo erosionado por cada rasgo y en total. Este último cálculo se realiza mediante la multiplicación del suelo total erosionado de cada sitio por la densidad aparente correspondiente a ese sitio. El resultado se expresa en toneladas (t).

4.5. Determinación florística de la vegetación riparia

La identificación florística se realizó en cada tramo o sitios de los seleccionados en la evaluación de la calidad de los ecosistemas riparios. En estos sitios se extendieron transectos de 25 metros a lo largo del tramo evaluado del cauce, con 1 metro de ancho a cada lado de la línea del transecto (Método de Gentry, 1982), para tener un área evaluada de $50 m^2$ (Ramos *et al.*, 2004).

Se registraron plantas con tipo de crecimiento arbustivo con una altura mayor a 30 cm y diámetro mayor a 1 cm y plantas arbóreas con diámetro a la altura del pecho mayor a 5 cm. A lo largo del tramo se contabilizaron el número de individuos por especie en cada uno de los sitios donde se realizó el muestreo. La frecuencia de individuos se empleó además, para calificar el parámetro de vegetación riparia en la evaluación rápida del estado de calidad de los ecosistemas riparios.

La identificación florística se realizó en campo y las especies que no se identificaron se colectaron para su posterior identificación (Ramírez, 2010). La recolección y preparación de los grupos vegetales se realizó de acuerdo con el Manual de herbario (Lot y Chiang, 1986). Se recolectaron estructuras de valor taxonómico para su identificación, se anotaron datos relevantes del hábitat y de las plantas recolectadas (Ramos *et al.*, 2004). La colecta se llevó a cabo en el mes de enero del 2012.

La identificación de la vegetación, se realizó con la ayuda de literatura taxonómica de botánica y la nomenclatura de familias que sigue la clasificación de Cronquits (1981) para Magnoliophytas. Además se usó la Flora ilustrada de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca de Cornejo e Ibarra (2008), entre otros documentos, para aproximarse a la identificación de especies y se corroboraron mediante el listado florístico que se realizó en la zona de la Mariposa Monarca del estudio de Cornejo y colaboradores (2003). Los ejemplares que se colectaron se usaron para su identificación en herbario con la ayuda de especialistas (Villareal *et al.*, 2006).

Una vez que se identificaron las especies se procedió a realizar una investigación de características relacionadas con su nombre común, la familia botánica, tipo de vegetación, forma de crecimiento, su distribución, si corresponden a vegetación riparia o están relacionados con alguna condición riparia, su uso tradicional en la zona, ya sean medicinales, comestibles, de ornato o maderables mediante manejo. De las especies que en base a la literatura se encontraron correspondían a especies riparias o relacionadas con alguna condición riparia, se detalló su información de distribución, el hábitat y tipo de vegetación en la que se encuentran, condiciones ambientales para su desarrollo y la importancia que presentan. Además se investigaron las cotas altitudinales en las que se distribuyen, además se incluyó su distribución en campo.

La información obtenida de cada una de las especies (Cuadro 21 y 22) se empleó para hacer la propuesta de especies útiles para la restauración ecológica de ecosistemas riparios, dentro de la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca y las especies riparias que pueden ser empleadas por personas de la comunidad mediante un uso sostenible.

Para realizar dichos objetivos, se seleccionaron a las especies que cumplían con los criterios de a) especies riparias o presentaron alguna condición riparia, b) especies riparias con alguna utilidad para las personas de la comunidad donde se desarrolló el estudio y c) especies riparias que se han empleado en procesos de restauración ambiental (según referencias bibliográficas). Una vez que se tenían cada uno de los grupos de especies vegetales seleccionados, se indicó su distribución a

lo largo del gradiente altitudinal del área de estudio. Para esto se tomó la información de la distribución altitudinal de cada una de las especies tanto teórica, como de campo. Para los casos en los que no coincidieran las altitudes teóricas y de campo, prevaleció la de altitud de campo, por ser la encontrada en el área de estudio.

5. Resultados

La microcuenca del río Rondanilla y la microcuenca del río Manzana de Nicolás Romero (Figura 10) se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Área y nombre de las subcuencas de estudio

	Microcuenca del río Rondanilla	Microcuenca del río Manzana de Nicolás Romero
Área (Ha)	718.62	1 480.94

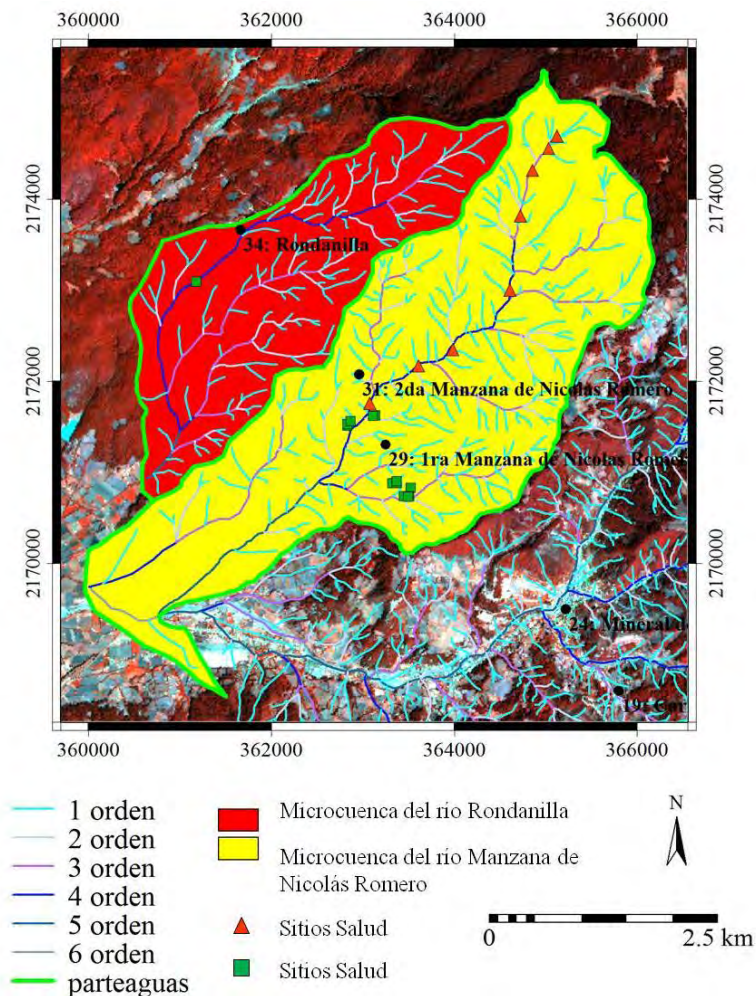


Figura 10. Subcuencas de estudio en la Reserva de la Mariposa Monarca, Angangueo, Michoacán

Las características de la red de drenaje, los tipos y formas de los valles de las microcuencas de estudio se presentan en el Cuadro 6:

Cuadro 6. Número de cauces de corriente y de formas de valles de las microcuencas de estudio

Forma del Valle	Microcuenca A		Microcuenca B		Total por valle		Porcentaje %	
	Intermitente	Perenne	Intermitente	Perenne	Intermitente	Perenne	Intermitente	Perenne
Somero en forma de V	55	0	20	2	75	2	68.8	13.3
Somero en forma de U	0	0	23	0	23	0	21.1	0.0
Profundo en forma de V	6	4	5	4	11	8	10.1	53.3
Poco desarrollados en planicies	0	4	0	1	0	5	0.0	33.3
Totales	61	8	48	7	109	15		

Orden de corriente	Microcuenca A	Microcuenca B	Total por orden	Porcentaje %
1	94	201	295	77.8
2	22	39	61	16.1
3	6	10	16	4.2
4	2	3	5	1.3
5	1	1	2	0.5
Totales	125	254	379	

El cauce de corriente de primer orden es el de mayor frecuencia con más de tres cuartas partes del total de cauces: 77.8 %. Los cauces de segundo y tercer orden conforman entre los dos más de la quinta parte (20.3 %). Por otra parte la mayor proporción de valles fue de tipo *someros en forma de V* (68.8 % intermitentes y 13.3 % perennes). En la zona de estudio debido a su ubicación en la parte alta de la microcuenca dominan los escurrimientos de primer orden (77.8%) e intermitentes, lo que propicia una disección vertical incipiente (Rosgen, 1996). Mientras que los cauces de río de tercer orden presentan valles profundos con forma en *V* (10.1 % intermitentes y 53.3 % perennes), siendo la mayoría perennes, lo que propicia que se erosione verticalmente y profundice el valle (Anónimo, 2010). Los valles con *formas en U*, se observaron principalmente en la parte alta de la microcuenca del Río Rondanilla. Estas formas indican periodos donde hay una fuerte erosión vertical seguida de erosión lateral, también puede deberse a que el río de desarrolla sobre un sustrato de roca dura, lo que reduce la tasa de erosión vertical (Anónimo, 2010).

Río abajo se observó un ensanchamiento del valle debido al debilitamiento de las paredes por el constante paso del agua (cauces perennes). Esto propicia formas *poco desarrolladas en planicies* (Anónimo, 2010), que se ubican en la parte baja de la microcuenca, donde también hay una acumulación de sedimentos.

Cabe mencionar que hubo una correlación entre la forma del valle y el orden de corriente de $r=0.98893$, lo que nos indica que hay una correspondencia con el tipo de valle y el orden de corriente que corre a través de él.

5.1. Evaluación de la calidad de condiciones ambientales de los ecosistemas riparios

Época de lluvias

Se llevó a cabo la evaluación que corresponde a la temporada de lluvias (agosto, 2011), efectuándose en los sitios 1 al 7 de los propuestos en gabinete (Figura 11). La longitud evaluada a lo largo del cauce de corriente principal, fue de 50 m de longitud. Los formatos de evaluación completos se detallan en el Anexo I.

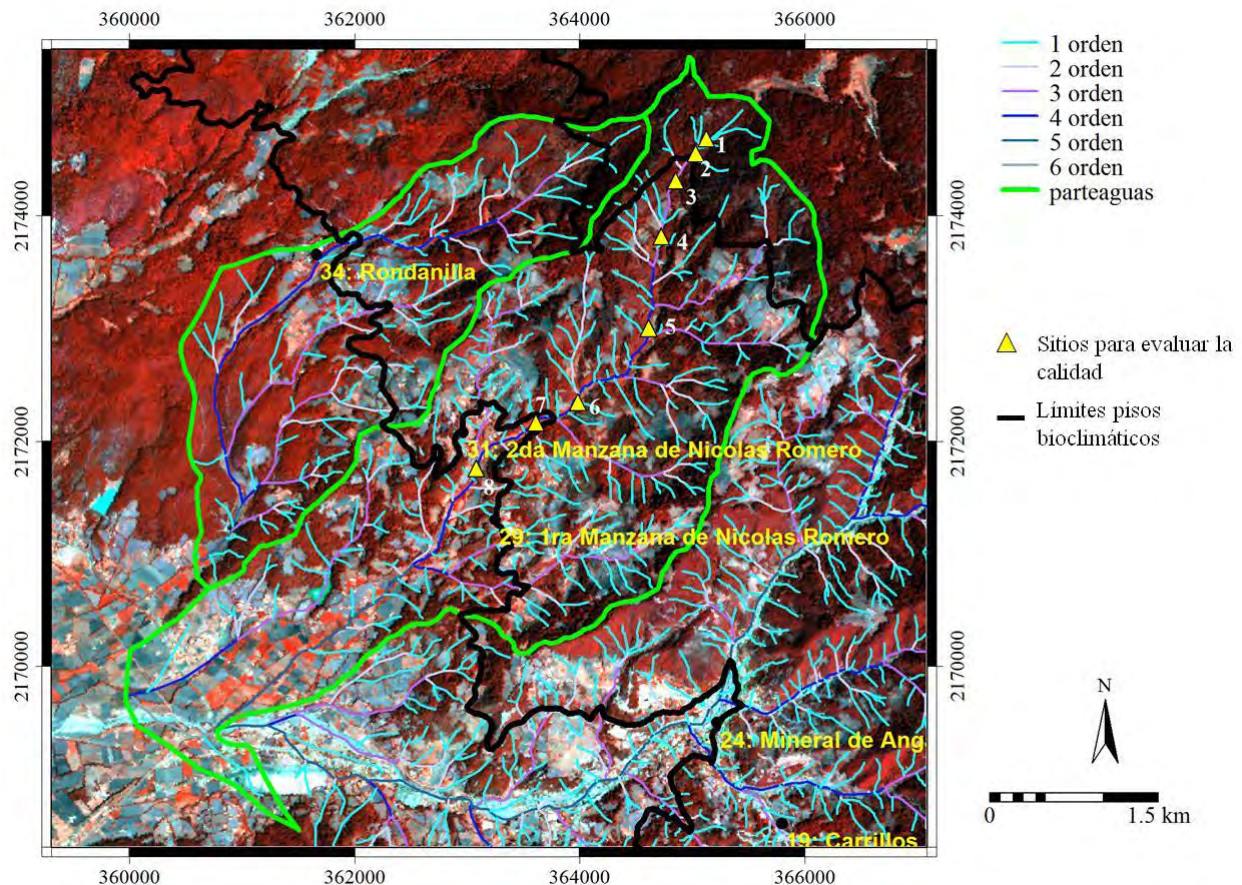


Figura 11. Mapa con los sitios de evaluación de la calidad del ecosistema ripario

La calificación de cada uno de los 12 parámetros, así como la determinación de la calidad de cada sitio evaluado se resume en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Calificación de cada uno de los parámetros evaluados en la época de lluvias

Lluvias							
Sitios	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7
Tipo y forma del valle	Profundo en forma V	Profundo en forma V	Profundo en forma V	Profundo en forma V	Profundo en forma V	Profundo en forma V	Profundo en forma V
Orden de corriente	2	2	3	3	4	4	4
Piso bioclimático	Supratropical superior	Supratropical superior	Supratropical inferior	Supratropical inferior	Supratropical inferior	Supratropical inferior	Mesotropical superior
Condición del canal	10	10	4	5	6	5	7
Régimen hidrológico	9.5	9.5	6	7	8	7	7
Presencia de estiercol	5	10	5	5	5	4	5
Estabilidad del talud	6	9	3	7.5	3	7	7
Apariencia del agua	10	9	8	8	8	8	9
Presencia de rápidos	9.5	10	10	10	8	10	9
Enriquecimiento de nutrientes	10	9	8	6	8	9	9
Hábitat de invertebrados	9	10	9	10	8	8	10
Cobertura del dosel	3	4	3	6	4	8	8
Estanques	8	8	10	9	9	8	6
Ancho de la zona riparia	5	8	3	7	4	8	7.5
Vegetación riparia	3	5	6	7	6	7	9
Calificación	7.3	8.5	6.3	7.3	6.4	7.4	7.8
Categoría	Regular	Bueno	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular

A continuación se presentan los sitios con mejor (sitio 2) y peor (sitio 3) evaluación de la evaluación del estado de calidad de ecosistemas riparios durante la época de lluvias.

Sitio 2

El sitio 2 (Figura 12) fue el que presentó las mejores condiciones obtuvo 8.5, mientras que el segundo lugar obtuvo 7.8 (sitio 7). Este sitio se encuentra a una altitud de 2867 msnm, en el piso bioclimático supratropical superior, en un cauce de corriente de segundo orden, el valle es profundo con forma en “V” y humedad en ambas paredes del valle. La vegetación circundante es un bosque de pino primario con follaje verde y abundante, además de la presencia de bromelias y helechos epífitos. Las especies que se encuentran a lo largo del tramo del cauce evaluado son: *Roldana albonervia* (Greenm.) H. Rob. et Brettell, *Cestrum anagyris* Dunal, *Ageratina conspicua* (Kunth et Bouché) R.M. King et H. Rob., *Alnus acuminata* Kunth y *Quercus obtusata* Humb. et Bonpl. El estado del tiempo al momento de la evaluación era soleado. El sustrato dominante

consistía en gravas angulares y rocas; el ancho del canal activo en promedio en el tramo evaluado fue de 122 metros, con una altura del caudal de 10.6 cm.

La condición del cauce y el régimen hidrológico no se encontraban visiblemente alterados y no se observaron evidencias de algún enriquecimiento de nutrientes. El ancho de la zona riparia cumplió con las dimensiones para ser regular, ya que era al menos un caudal y medio de ancho. Sin embargo la cobertura del dosel y la vegetación riparia fueron los parámetros que obtuvieron la evaluación más baja, debido a que no toda la vegetación era riparia, salvo *A. acuminata*.

Sitio 3

El sitio 3 (Figura 13) fue el que presentó la calificación más baja de los 7 sitios evaluados. Este sitio se encuentra a una altitud de 2776 msnm, en el piso bioclimático supratropical inferior y en un cauce de corriente de tercer orden, el valle es profundo con forma de “V”. De acuerdo al uso de suelo, la zona se encuentra en una transición del bosque de pino y pino-encino. La vegetación identificada fue: *Satureja macrostema* (Moc. y Sessé ex Benth.) Briq., *Ageratina conspicua*, *Stevia monardifolia* Kunth, *Roldana albonervia*, *Baccharis conferta* Kunth, *Cestrum anagyris* Dunal, *Rubus liebmannii* Focke y *Crataegus pubescens* (Kunth) Steud.

El estado del tiempo al momento de la evaluación era soleado. El sustrato consistía en cantos y gravas con arena y gravilla intercalada, bancos de arena aislados. El ancho del canal activo en promedio presentó 137 cm y la altura del caudal era de 15 cm en promedio. En la evaluación del sitio, los parámetros que no evidenciaban una mayor perturbación fueron la presencia de estanques y rápidos, la apariencia del agua, una poca evidencia de enriquecimiento de nutrientes, además de sitios potenciales para hábitat de invertebrados. Sin embargo, la presencia de una construcción de presa de gavión (Figura 14) ha ocasionado que gran parte del agua quede represada evitando que el régimen hidrológico fluya naturalmente. Por lo mismo los parámetros que tuvieron una evaluación deficiente fueron la condición del canal (por la presencia de la presa de gavión en ambos extremos del tramo evaluado), el régimen hidrológico (por el represamiento del agua) y la presencia de estiércol. La cobertura del dosel como el ancho de la zona riparia, no cumplieron las medidas que contempla el protocolo.



Figura 12. Sitio de evaluación de la calidad en época de lluvias, estación 2



Figura 13. Sitio de evaluación de la calidad en época de lluvias, estación 3



Figura 14. Presa de gavión que comienza a alterar el régimen hidrológico. A) Época de lluvias y B) Época de secas

Época de secas

Se llevó a cabo la evaluación que corresponde a la temporada de estiaje o secas (marzo, 2012), efectuándose en los sitios 1 al 7 de los propuestos en gabinete, además de un octavo sitio que se añadió río abajo del séptimo sitio (Figura 14). La longitud evaluada a lo largo del cauce de corriente principal, fue de 50 m de longitud. Los formatos de evaluación completos se detallan en el Anexo I.

La calificación de cada uno de los 12 parámetros, así como la determinación de la calidad de cada sitio evaluado se resume en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Calificación de cada uno de los parámetros evaluados en la época de secas

Secas								
Sitios	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7	Sitio 8
Tipo y forma del valle	Profundo en forma V	Profundo en forma V	Profundo en forma V	Profundo en forma V	Profundo en forma V	Profundo en forma V	Profundo en forma V	Profundo en forma V
Orden de corriente	2	2	3	3	4	4	4	4
Piso bioclimático	Supratropical superior	Supratropical superior	Supratropical inferior	Supratropical inferior	Supratropical inferior	Supratropical inferior	Mesotropical superior	Mesotropical superior
Condición del canal	10	9	5	5	4	5	7	8
Régimen hidrológico	10	8.5	5.5	5.5	3	5	5.5	6
Presencia de estiércol	10	5	5	5	5	5	5	5
Estabilidad del talud	9	8	3	8	2	5	6.5	6
Apariencia del agua	10	10	10	9	8	8	9	9
Presencia de rápidos	10	10	10	10	8	8	9	8
Enriquecimiento de nutrientes	10	10	10	9	5	5	9	5
Hábitat de invertebrados	10	10	10	10	10	10	10	10
Cobertura del dosel	3	5	5	6	3	6.5	8.5	9
Estanques	10	9	10	10	10	8	9	10
Ancho de la zona riparia	5	6	4	8.5	3	6	5	6.5
Vegetación riparia	3	5	6	7	6	7	9	9
Calificación	8.3	8.0	7.0	7.8	5.6	6.5	7.7	7.6
Categoría	Bueno	Bueno	Regular	Regular	Deficiente	Regular	Regular	Regular

A continuación se presentan los sitios con mejor (sitio 1) y peor (sitio 5) evaluación de la calidad de condiciones ambientales de ecosistemas riparios durante la época de secas.

Sitio 1

El sitio 1 (Figura 15) fue el que presentó la mejor evaluación (8.3) durante la época de secas. Este sitio se encuentra a una altitud de 2888 msnm, en el piso bioclimático supratropical superior, en un cauce de corriente de segundo orden, con valle profundo y la forma en “V”. La vegetación circundante es un bosque de pino primario, mientras que las especies que se encuentran en el valle son: *Verbesina oncophora* B. L. Rob. y Seaton, *Roldana angulifolia* (D.C.) H. Rob. y Brettell, *Satureja macrostema*, *Roldana albonervia*, *Stevia monardifolia*, *Baccharis conferta* y *Pinus michoacana* Martínez. El estado del tiempo al momento de la evaluación era nublado. El sustrato dominante consistía en gravas angulares, mezcladas con arenas gruesas. El ancho del canal activo en promedio en el tramo evaluado era de 90.6 cm, con una altura del caudal de 4.3 cm. La condición del cauce, el régimen hidrológico, la apariencia del agua y el enriquecimiento de nutrientes no se encontraban visiblemente alterados y no se observó evidencia de enriquecimiento de nutrientes. Los parámetros que presentaron una evaluación más baja fueron la cobertura del dosel, el ancho de la zona riparia y la vegetación riparia. Este último debido a que la vegetación en el lugar no es típica de ambientes riparios.

Sitio 5

El sitio 5 (Figura 16) fue el que presentó la calificación más baja. Este sitio se encuentra a una altitud de 2664 msnm, en el piso bioclimático supratropical inferior y en un cauce de corriente de cuarto orden, el valle es profundo en forma de “V”. De acuerdo con el uso de suelo, la zona se encuentra en una transición del bosque de pino y pino-encino, sin embargo, en campo correspondía a una zona de libre pastoreo. La vegetación estaba compuesta por: *Baccharis salicifolia* (Ruiz y Pavón) Pers., *Baccharis multiflora* Kunth, *Satureja macrostema*, *Buddleja cordata* Kunth, *Ageratina conspicua*, *Baccharis conferta* y *Rubus liebmanni*. El estado del tiempo al momento de la evaluación fue nublado. El sustrato consistía en cantos, gravas y arenas intercalado, además de bloques de 1 a 2 metros de longitud. El ancho del canal activo en promedio tenía 126.4 cm y una altura del caudal de 4.9 cm en promedio.

Los parámetros que no evidenciaron una mayor perturbación fueron la presencia de estanques y el hábitat de invertebrados. Mientras que la estabilidad del talud, el régimen hidrológico y el ancho de la zona riparia fueron los que presentaron una evaluación deficiente.



Figura 15. Sitio de evaluación de la calidad en época de secas, estación 1



Figura 16. Sitio de evaluación de la calidad en época de secas, estación 5

Con base en los parámetros evaluados en la época de lluvias y de secas, se determinó aquellos que presentaron una mayor influencia en la calificación final por cada sitio, para lo cual se realizó un análisis de factores con extracción de componentes principales.

A continuación se presenta el peso de cada factor y los parámetros que comprenden cada factor, de acuerdo con el análisis de factores para la época de lluvias (Cuadro 9 y 10).

Cuadro 9. Análisis de factores en base a la matriz de época de lluvias.

Porcentaje de explicación de cada *Eigenvalor*

Eigenvalor	% de variación total	Eigenvalor acumulado	% acumulado
4.655	38.79	4.655	38.79
3.456	28.81	8.111	67.60
1.874	15.62	9.986	83.22

Cuadro 10. Análisis de factores, época de lluvias. Explicación de cada factor

Extracción: Componentes principales. Variables con carga >0.78		
Variable	Factor 1	Factor 2
Condición del cauce	0.961	-0.236
Régimen hidrológico	0.852	-0.385
Presencia de estiércol	0.664	-0.052
Estabilidad del talúd	0.689	0.633
Apariencia del agua	0.85	-0.228
Presencia de rápidos	0.158	0.272
Enriquecimientos de nutrientes	0.609	-0.243
Hábitat de invertebrados	0.457	0.424
Cobertura del dosel	-0.114	0.915
Estanques	-0.563	-0.574
Ancho de la vegetación riparia	0.49	0.808
Vegetación riparia	-0.437	0.813
Explicación de variables	4.655	3.456
Proporción total	0.3879	0.2881

Números en negritas, indican mayor carga de explicación por factor.

De acuerdo con la información del Cuadro 9 se interpreta que hay dos factores que explican en conjunto el 67.6 % de los procesos ocurridos en la evaluación en época de lluvias. El factor 1 está comprendido por variables relacionadas con el caudal: condición del cauce, régimen hidrológico y apariencia del agua. Mientras que en el segundo factor lo integran variables que corresponden a la zona terrestre de la evaluación: cobertura del dosel, ancho de la zona riparia y vegetación riparia. El primer factor explica un 38.8 % de la evaluación, mientras que el segundo factor explica 28.8 %.

La agrupación de las variables en cada factor se observa en la siguiente gráfica (Figura 17):

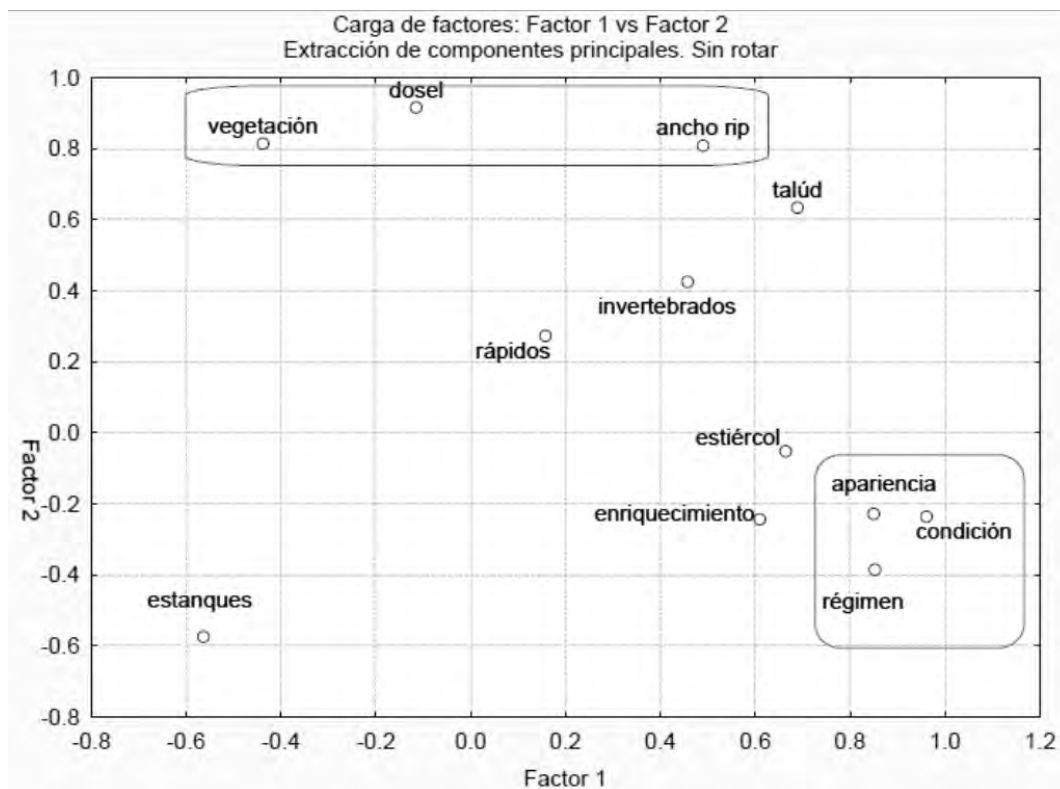


Figura 17. Agrupamiento de variables de mayor carga en época de lluvias

En la figura 17, se puede apreciar que las variables vegetación riparia y cobertura del dosel están más próximas entre sí, en relación al ancho de la zona riparia. Mientras el agrupamiento de las variables que conforman al factor 1 es más próximo, lo que indicaría una mayor relación entre sí. En el análisis de factores para la evaluación en época de secas hay dos factores que explican en conjunto 70.4 % de la variación total de la evaluación. A continuación se muestran los análisis para dicha evaluación (Cuadro 11 y 12).

Cuadro 11. Análisis de factores en base a la matriz de época de secas.

Porcentaje de explicación de cada *Eigenvalor*

Eigenvalor	% de variación total	Eigenvalor acumulado	% acumulado
5.363	48.758	5.363	48.75
2.382	21.657	7.745	70.42
1.305	11.863	9.051	82.28

Cuadro 12. Análisis de factores, época de secas. Explicación de cada factor

Extracción: Componentes principales. Variables con carga >0.78		
Variable	Factor 1	Factor 2
Condición del cauce	0.758	-0.324
Régimen hidrológico	0.929	-0.206
Presencia de estiércol	0.734	0.257
Estabilidad del talúd	0.724	-0.592
Apariencia del agua	0.867	-0.042
Presencia de rápidos	0.831	0.009
Enriquecimientos de nutrientes	0.817	-0.022
Cobertura del dosel	-0.391	-0.838
Estanques	0.264	0.37
Ancho de la vegetación riparia	0.143	-0.796
Vegetación riparia	-0.709	-0.583
Explicación de variables	5.363	2.382
Proporción total	0.487	0.2165

Números en negritas, indican mayor carga de explicación por factor.

El factor 1 está integrado por las variables: régimen hidrológico, apariencia del agua, presencia de rápidos y enriquecimiento de nutrientes, explicando 48.8 % de la variación durante la época de secas. Mientras que el segundo factor lo integran variables que corresponde a la parte terrestre: cobertura del dosel y ancho de la zona riparia, con un porcentaje de explicación de 21.7 %.

La Figura 18 muestra los agrupamientos de las variables para cada factor.

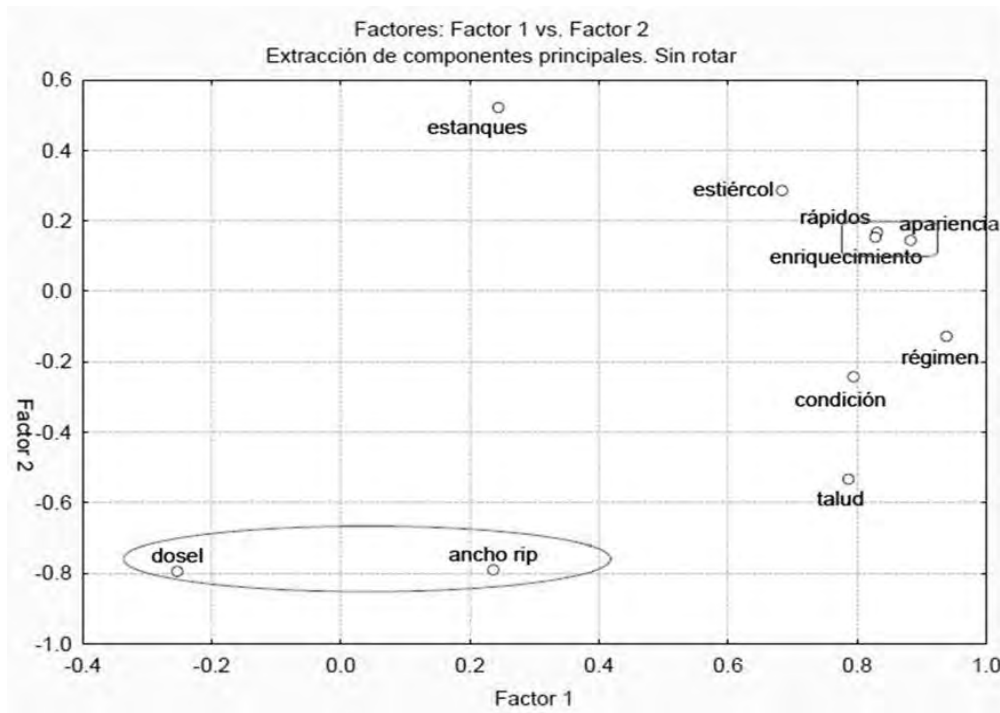


Figura 18. Agrupamiento de variables de mayor carga en época de secas

Se puede observar que las variables del factor 1 forman un grupo aparte de los demás, mientras que las variables del factor 2 a pesar de que no están tan próximas entre sí como las del factor 1, sí están alejadas de las demás, como para considerar que efectivamente forman un factor aparte. Una vez conociendo las variables que conforman a los factores obtenidos de cada época de muestreo (lluvias y secas), se consideraron únicamente dichas variables, para presentar la evaluación y su respectiva calificación en cada época (Cuadro 13 y 14):

Cuadro 13. Evaluación modificada en época de lluvias

Lluvias							
Sitios	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7
Piso bioclimático	Supratropical superior	Supratropical superior	Supratropical inferior	Supratropical inferior	Supratropical inferior	Supratropical inferior	Mesotropical superior
Condición del canal	10	10	4	5	6	5	7
Régimen hidrológico	9.5	9.5	6	7	8	7	7
Apariencia del agua	10	9	8	8	8	8	9
Cobertura del dosel	3	4	3	6	4	8	8
Ancho de la zona riparia	5	8	3	7	4	8	7.5
Vegetación riparia	3	5	6	7	6	7	9
Calificación	7	8	6	7	6	7	8
Categoría	Regular	Bueno	Deficiente	Regular	Regular	Regular	Bueno

Cuadro 14. Evaluación modificada en época de secas

Secas								
Sitios	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7	Sitio 8
Piso bioclimático	Supratropical superior	Supratropical superior	Supratropical inferior	Supratropical inferior	Supratropical inferior	Supratropical inferior	Mesotropical superior	Mesotropical superior
Régimen hidrológico	10	8.5	5.5	5.5	3	5	5.5	6
Apariencia del agua	10	10	10	9	8	8	9	9
Presencia de rápidos	10	10	10	10	8	8	9	8
Enriquecimiento de nutrientes	10	10	10	9	5	5	9	5
Cobertura del dosel	3	5	5	6	3	6.5	8.5	9
Ancho de la zona riparia	5	6	4	8.5	3	6	5	6.5
Calificación	8	7	8	8	7	7	8	8
Categoría	Regular	Bueno	Regular	Bueno	Deficiente	Regular	Bueno	Regular

En gris se resalta la calificación modificada.

Este ejercicio nos permite observar que al seleccionar únicamente las variables que tienen mayor influencia en la explicación de cada evaluación (secas y lluvias), las calificaciones se mantienen en la mayoría de los sitios y sólo en algunos hay una disminución en una unidad.

5.2. Evaluación de retención de sedimentos

Se muestra la ubicación de los 6 sitios encontrados en campo en la Figura 19.

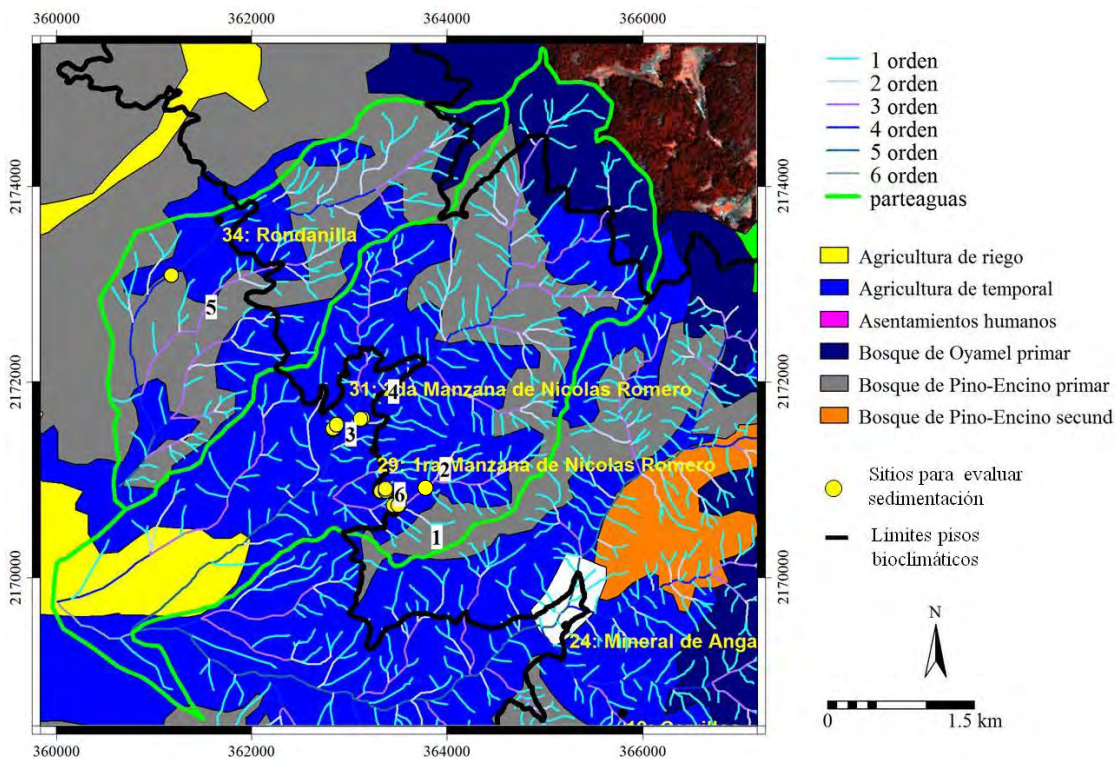


Figura 19. Sitios para la evaluación de la retención de sedimentos

Se puede observar que los sitios se distribuyen a lo largo de los límites entre los pisos bioclimáticos supratropical inferior y mesotropical superior.

Los rasgos de erosión que se identificaron en cada una de las parcelas sirvieron para caracterizar como han sido los procesos erosivos del pasado, con el fin de relacionarlos con las evaluaciones de las estacas (Figura 20).



Figura 20. a) Zona riparia. b) Erosión por flujos de escorrentía, c) pedestales y d) terracetos

En la Figura 20 se puede observar parte de una zona riparia cubierta por hojarasca y ramas (a), mientras que en la figura b se observa una de las parcelas de agricultura que se evaluaron en el presente estudio. Las figuras c y d, muestran dos ejemplos de los rasgos de erosión que se detectaron (pedestales y terracetos respectivamente).

A partir de los datos que se obtuvieron de los rasgos de erosión, de las mediciones se estimó la cantidad de suelo perdido (Cuadro 15), donde se desglosa el suelo perdido por parcela, rasgo de erosión y el total de suelo perdido por sitio.

Cuadro 15. Suelo perdido por los diferentes rasgos de erosión

	Rasgos de erosión					
	Área parcelas	Pedestales (m ³)	Terracetas (m ³)	Flujos de escorrentía (m ³)	Total suelo erosionado (m ³)	Total suelo erosionado (t)
Sitio 1	28.4		0.014		0.014	0.013
Sitio 2	16.08		0.077	0.028	0.105	0.101
Sitio 3	27.9			0.009	0.071	0.067
Sitio 4	20.44		0.0033	0.037	0.041	0.041
Sitio 5	23.28			0.077	0.077	0.090
Sitio 6	23.94	0.001	0.009	0.082	0.092	0.104
Total		0.001	0.104	0.295		

Los rasgos de erosión más comunes encontrados en las parcelas fueron: flujos de escorrentía de manera más conspicua en casi todas las parcelas, seguido por terracetas y sólo en una parcela se encontró erosión por pedestales.

Del cuadro anterior se desprende que el sitio que presentó una mayor pérdida de suelo fue el sitio dos debido a una terraceta de 180 cm de largo y 12 cm de altura, siendo la terraceta de mayor dimensión encontrada en comparación con el promedio que fue de 5.8 cm de alto por 5 cm de largo. El sitio seis fue el segundo que presentó una mayor pérdida de suelo en función de los rasgos de erosión registrados en el momento de la toma de datos, donde se encontraron además de terracetas y flujos de escorrentía, pedestales (Figura 20 c). Además el rasgo de erosión que propició una mayor pérdida de suelo fueron los flujos de escorrentía.

A continuación se presentan las seis caracterizaciones del suelo superficial que se realizaron para cada sitio (Figura 21) y los rasgos edáficos que se observaron en campo (Cuadro 16).



Figura 21. Descripción de los horizontes superficiales del suelo en cada uno de los 6 sitios evaluados. a) sitio 1, b) sitio 2, c) sitio 3, d) sitio 4, e) sitio 5 y f) sitio 6

Cuadro 16. Rasgos edáficos de los seis sitios

Sitio	Profundidad (cm)	Textura	Estructura	Color (húmedo)	M.O. (%)	Pedregosidad (%)	Rasgos de erosión (m3)	Rasgos de erosión (ton)	Cobertura en parcela agrícola (%)	Pendiente (°) Agric./Ripar.	Densidad aparente por parcela (g/cm ³)	
											Agrícola	Riparia
S1_1	0-2	CA	Subangular rompe a angular con granos compactados y láminas de compactación de 1mm. Muchos poros finos	10 YR 3/4	1.5				Sin pasto 42	24/1		
	2-4.5	CA/CRA	Subangular rompe angular con láminas de compactación	7.5 YR 3/4	1.8	12 % en superficie	0.014	0.0131		18/7	0.933	0.744
	4.5-12	C/CRL	Angular rompe angular, gravillas con manchas de oxidación	7.5 YR 4/4	1.8				Con pasto 58	17/17		
S2_1	0-1.5	CRA/CA	Subangular rompe a subangular. Láminas de compactación y muchos poros finos	5 YR 3/3	2.8				Sin pasto 12	18/18		
	1.5-8	CRA/CR	Subangular rompe angular. Manchas de oxidación y láminas de compactación	10 YR 3/4	2	0-1 % en superficie	0.15	0.1007		10/10	0.958	0.737
	8-14	RA	Subangular rompe subangular, con manchas negras	7.5 YR 3/4	2.5				Con pasto 88	17/11		
S3_1	0-2.5	CA	Subangular medio rompe a subangular.	7.5 YR 3/3	2.2	0-1 % en superficie	0.071	0.0665	Sin pasto 15	6/6		
	2.5-18	CR/CRA	Subangular rompe subangular. Manchas de oxidación.	10 YR 3/4	2				Con pasto 85	6/6	0.938	0.680
	0-10	RA	Subangular rompe a subangular, poros chicos. Piso de labranza.	7.5 YR 3/3	3.5	2 % en superficie	0.041	0.0411	Sin pasto 23	11/16		
S4_1	10-23	CRA	Subangular rompe subangular. Poros chicos pocos.	7.5 YR 3/3	2.8				Con pasto 78	10/10	1.010	0.754
	0-2.5	CA	Subangular y terrones rompe a subangular	5 YR 3/2	2.8	1-2 % en superficie	0.077	0.0904	Sin pasto 18	9/9		
	2.5-15	CA	Subangular rompe subangular, con muchos poros finos y medianos.	7.5 YR 3/3	2.2				Con pasto 83	7/7	1.171	0.791
S6_1	0-2	CA/CRA	Subangular rompe a subangular. Láminas de compactación.	10 YR 3/4	1.9				Sin pasto 38	8/8		
	2-10	CRA	Subangular rompe subangular-angular.	7.5 YR 4/4	1.9	5 % en superficie	0.092	0.1036		6/6	1.123	0.811
	10-14	CRA/RA	Subangular rompe a subangular y terrones finos	10 YR 4/4	2				Con pasto 62	10/10		

A: Franco arenoso, CRA: franco arcillo-arenoso, C: franco, CRL: franco arcillo limoso, CR: franco arcilloso, RA: franco arcillo-arenoso.

La textura de a, b, c y f son similares: con texturas arcillo-arenosas y francas arcillo-arenosas en la parte superficial y franco arcillo-arenosas en los horizontes subsuperficiales. La estructura de los seis sitios presenta características similares, ya que en la mayoría los agregados son subangulares de tamaño medio que rompen a subangular chicos. Otra de las características observadas es que en la estructura de los sitios uno, dos y seis se aprecian láminas de compactación. En el sitio tres se observan manchas de oxidación a 8 cm de profundidad. La pedregosidad en superficie fue similar en cinco de los seis sitios con un porcentaje de 1 a 5%, sólo el sitio uno presentó 12% de pedregosidad. También el sitio uno presentó la pendiente más pronunciada de los seis sitios, la cual iba desde 24° hasta 17°; los demás sitios la pendiente oscilaba de los 18° a los 6° grados.

La densidad aparente fue una de las características que se tomaron en cuenta para evaluar la retención de sedimentos tanto en la parte de la parcela de agricultura en descanso, como en la parte del ecosistema ripario. Los datos obtenidos tanto en la parte del ecosistema ripario, como en la parcela de agricultura de temporal se detallan a continuación (Cuadro 17 y 18).

Cuadro 17. Densidad aparente en la parte de agricultura de temporal

	\bar{x} (gr/cm ³)	s
Sitio 1	0.933	0.126
Sitio 2	0.957	0.123
Sitio 3	0.937	0.153
Sitio 4	1.011	0.101
Sitio 5	1.171	0.104
Sitio 6	1.122	0.146

Cuadro 18. Densidad aparente en la parte del ecosistema ripario

	\bar{x} (gr/cm ³)	s
Sitio 1	0.743	0.130
Sitio 2	0.736	0.127
Sitio 3	0.680	0.150
Sitio 4	0.754	0.088
Sitio 5	0.791	0.094
Sitio 6	0.81	0.111

Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo de Siebe y colaboradores (2006).

La mayor densidad aparente en la zona de agricultura de temporal se registró en el sitio cinco con 1.17 g/cm^3 , mientras que la menor se obtuvo en el sitio uno y en el tres. Para la zona del ecosistema ripario se registró la mayor densidad aparente en el sitio seis, seguida del sitio cinco y la menor se obtuvo en el sitio tres con 0.68 g/cm^3 .

A continuación se presentan los resultados de las pruebas de t-student de cada sitio (Cuadro 19):

Cuadro 19. T-student, para las densidades aparentes de cada sitio

Comparación entre sitios		p-value
Ripario1	Agrícola 1	0.0602
Ripario 2	Agrícola 2	0.0121
Ripario 3	Agrícola 3	0.0040
Ripario 4	Agrícola 4	0.0083
Ripario 5	Agrícola 5	0.0001
Ripario 6	Agrícola 6	0.0122

Negritas significancia.

La densidad aparente fue significativamente menor en los sitios del dos al seis. Sólo en el sitio uno no hubo una diferencia significativa.

En las mediciones que se realizaron en las estacas, tomando como referencia el tiempo cero (Figura 22a), que corresponde a la colocación de las mismas, se obtuvo tanto la acumulación de sedimentos (Figura 22b), como la pérdida de suelo (Figura 22c) y en algunos casos, las estacas permanecieron sin cambios aparentes en sedimentación-erosión a lo largo del periodo de mediciones (Figura 22d). Esto se ejemplifica en la Figura 22.

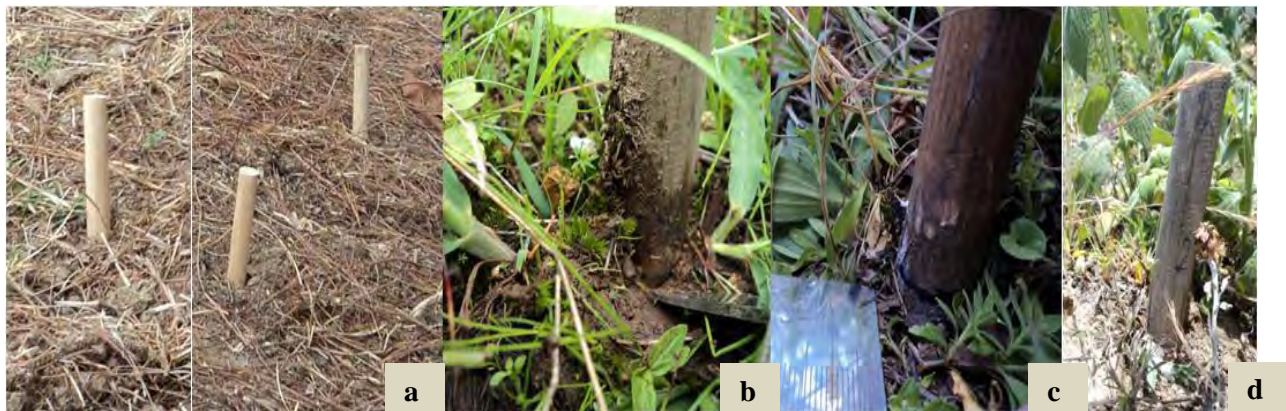


Figura 22. Vista lateral de las estacas con inclinación hacia la derecha. a) Tiempo cero, b) sedimentación, c) erosión y d) sin cambios aparentes de sedimentación-erosión

Los resultados que se obtuvieron en los seis sitios del estudio, se agruparon por tratamiento, para realizar una comparación en los cuatro tiempos de mediciones y se analizó mediante una prueba de t-student . Además se realizó una curva ombrotérmica de los meses del período del estudio, para comparar los datos de sedimentación-erosión de cada tratamiento en base a la precipitación y temperatura registrada a lo largo del estudio (Figura 23).

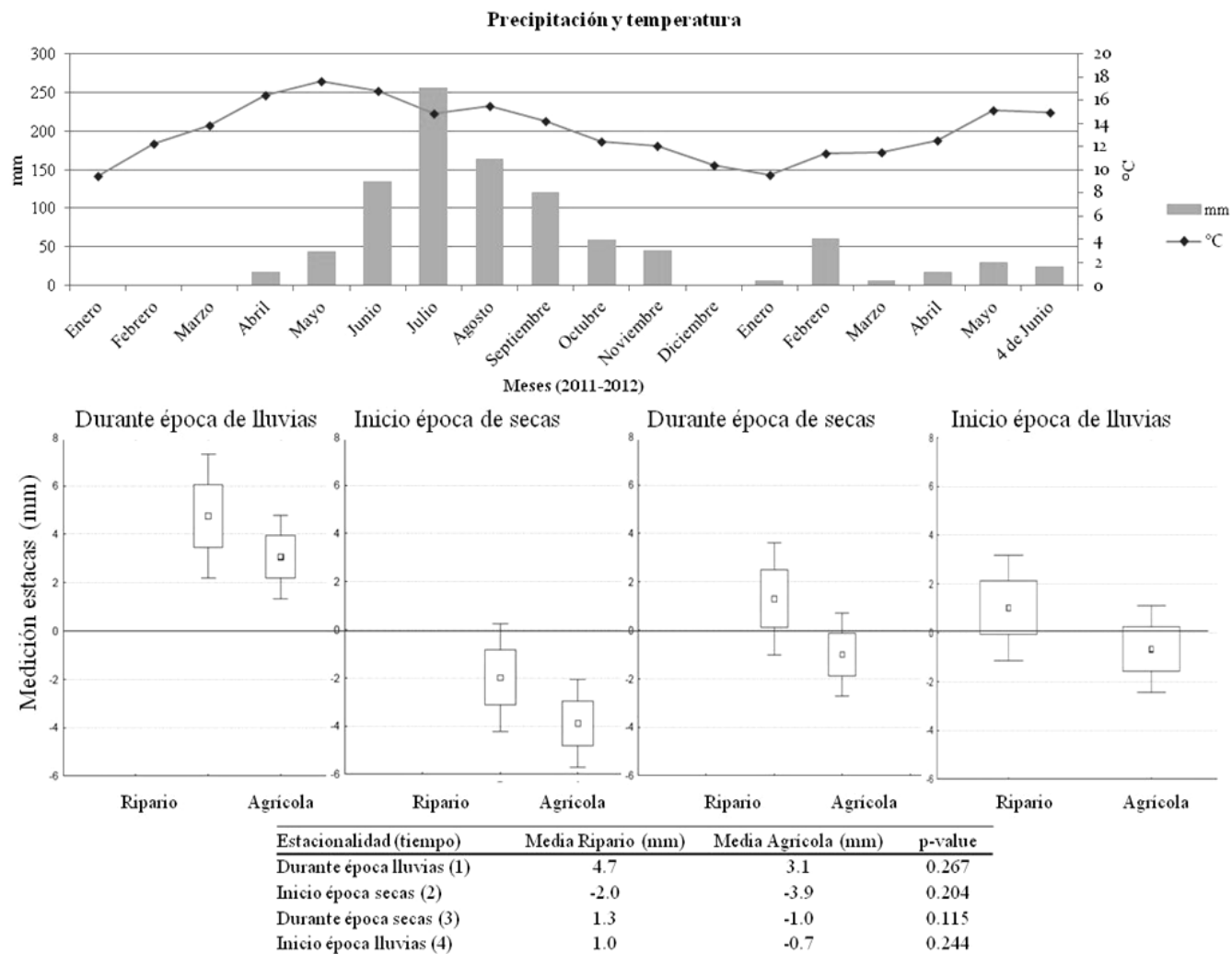


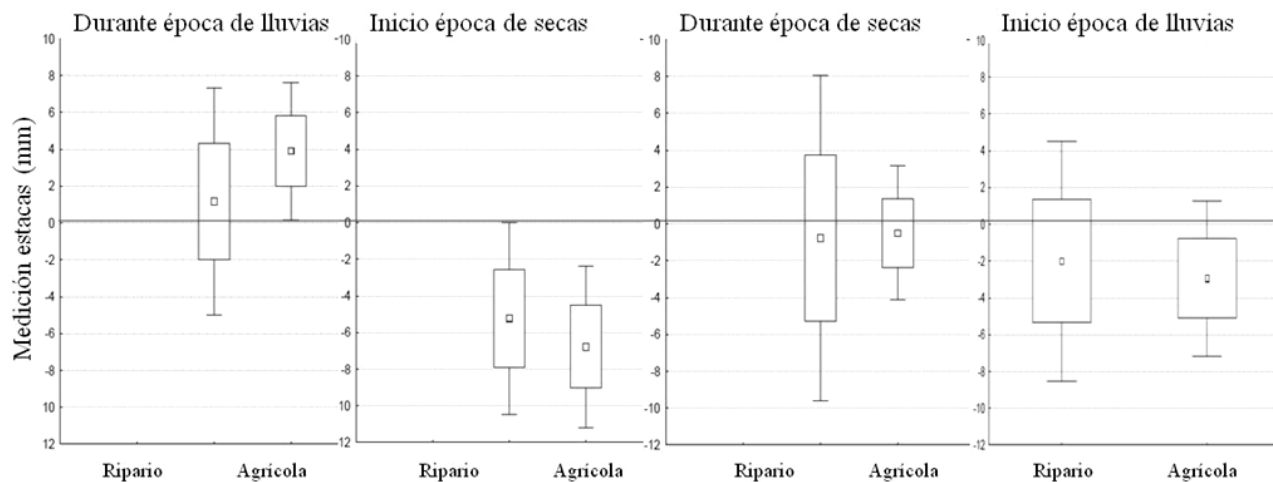
Figura 23. Gráfica ombrotérmica y análisis t-student para los cuatro tiempos de mediciones

En las cuatro mediciones de estacas realizadas, no hubo una diferencia significativa entre las del ecosistema ripario y la parte de agricultura de temporal, sin embargo, se observaron diversas tendencias. La primera fue, que durante la época de lluvias hubo una acumulación de sedimento en ambos tratamientos siendo mayor en la parte del ecosistema ripario con 4.76 mm y 3.1 mm en la parcela agrícola. Al inicio de la época de secas se observó una disminución en el nivel del

suelo en relación con el nivel inicial, para ambos tratamientos, siendo más acentuado este descenso en la parcela agrícola de temporal con -3.9 mm y -2 mm para el ecosistema ripario. La siguiente tendencia observada correspondió a lo observado durante la época secas, donde la parte del ecosistema ripario mostró una acumulación de sedimento alcanzando 1.3 mm en relación con la marca inicial del estudio, mientras que la parte agrícola, a pesar de que elevó sus niveles en relación a la medición anterior, permaneció por debajo de la marca del tiempo cero con -1 mm. Lo observado en la medición que correspondió al inicio de la época de lluvias fue en promedio muy similar a lo obtenido en la anterior medición, para ambos tratamientos.

La tendencia más notoria observada, fue la mayor acumulación de sedimento que hubo en la parte riparia en las mediciones durante la época de lluvias, durante la época de secas y en el inicio de la época de lluvias, así como la menor pérdida de partículas superficiales en el inicio de la época de secas, todo en relación con la parte agrícola.

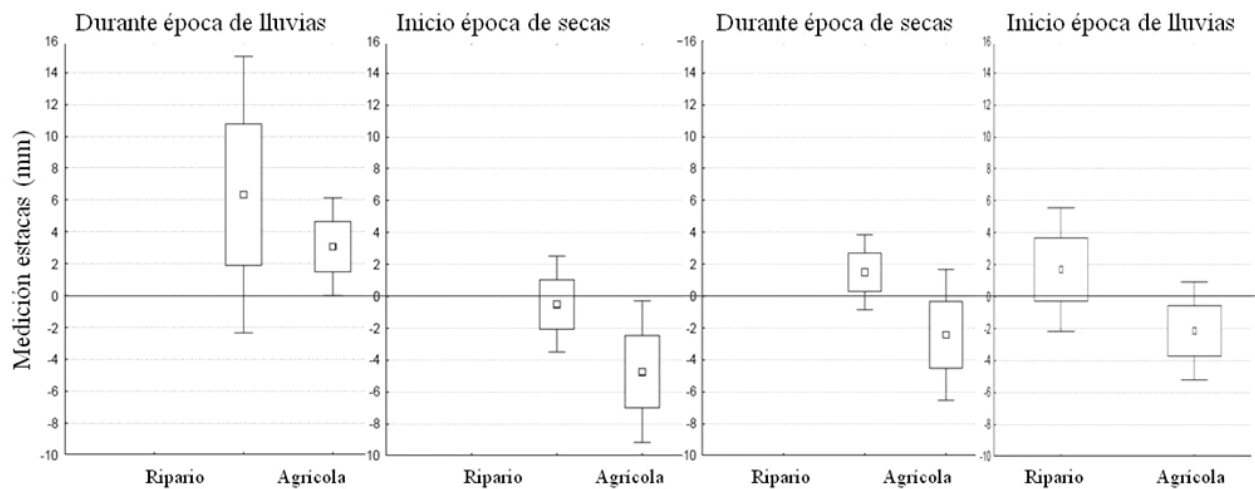
A continuación se presentan cada una de las gráficas y sus cuadros respectivos de todos los sitios, donde se observan los valores de probabilidad (p-value) de cada prueba (Figura 24, 25, 26, 27, 28 y 29):



Estacionalidad (tiempo)	Media Ripario (mm)	Media Agrícola (mm)	p-value
Durante época lluvias (1)	1.2	3.9	0.449
Inicio época secas (2)	-5.2	-6.8	0.679
Durante época secas (3)	-0.8	-0.5	0.946
Inicio época lluvias (4)	-2.0	-2.9	0.807

Figura 24. Sitio 1, prueba de t-student para comparar los dos tratamientos

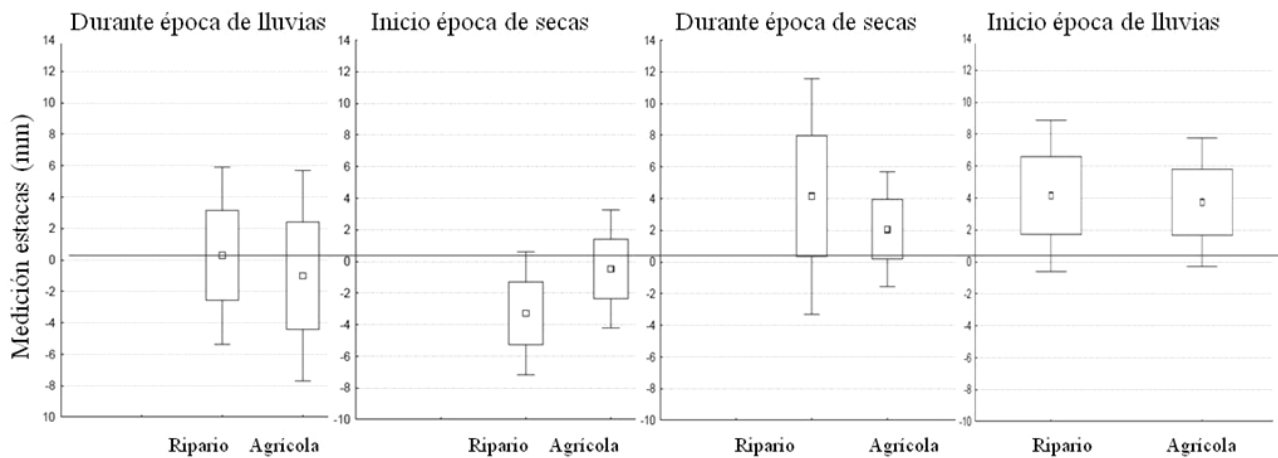
En la primera medición de las estacas para el sitio uno, que fue durante la época de lluvias, en promedio se retuvo sedimento en ambos tratamientos siendo mayor en la zona de agricultura, aunque el error estándar fue mayor en la parte del ecosistema ripario, indicando mayor heterogeneidad en los datos. En el inicio de la época de secas se registró una pérdida de suelo en ambos tratamientos siendo mayor para la parte de agricultura de temporal (-6.7 mm y -5.2 mm en el ecosistema ripario); el error estándar fue similar en ambos. Durante la época de secas, ambos tratamientos estuvieron aún por debajo de la marca inicial (tiempo cero), con -0.5 mm para la parte de agricultura de temporal y -0.7 para el ecosistema ripario, sin embargo, en relación con el inicio de la época de secas hubo un incremento, por lo que hubo una acumulación de sedimentos en ambas zonas. En la última medición, que correspondió al inicio de la época de lluvias, hubo una remoción de las partículas superficiales en ambos tratamientos, por lo que las mediciones registradas en promedio fueron -2 mm para el ecosistema ripario y -2.94 mm para la agricultura de temporal, siendo mayor esta disminución para esta última. A lo largo del año de mediciones, no se registraron diferencias significativas entre los dos tratamientos.



Estacionalidad (tiempo)	Media Ripario (mm)	Media Agrícola (mm)	p-value
Durante época lluvias (1)	6.3	3.1	0.387
Inicio época secas (2)	-0.5	-4.7	0.214
Durante época secas (3)	1.5	-2.4	0.208
Inicio época lluvias (4)	1.7	-2.2	0.156

Figura 25. Sitio 2, prueba de t-student para comparar los dos tratamientos

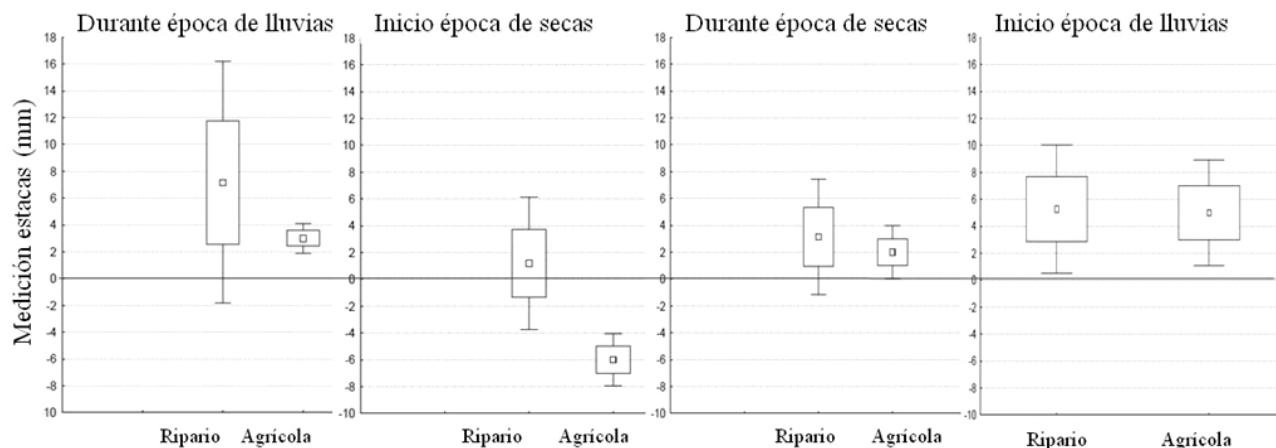
En el sitio dos en primer lugar se observó que a lo largo de las cuatro mediciones hubo una tendencia en la que la zona del ecosistema ripario retuvo más sedimento que la zona agrícola. Durante la época de lluvias, al igual que el sitio uno, se registró una acumulación de sedimentos en ambos tratamientos siendo mayor para el ecosistema ripario con 6.3 mm y 3.06 mm en la parcela agrícola, aunque el error estándar fue mayor en el primero. Al inicio de la época de secas, de manera similar al sitio uno hubo una disminución en el nivel del suelo, en relación con lo que se registró durante la época de lluvias, incluso por debajo de la marca inicial (-4.7 mm para la parcela agrícola y -0.5 mm para la parte riparia), el error estándar fue mayor en los datos de la parcela agrícola. Durante la época de secas y al inicio de la época de lluvias, los valores obtenidos fueron muy similares, donde hubo un incremento en los sedimentos retenidos en ambos tratamientos, siendo más conspicuo en el ecosistema ripario, con 1.5 y 1.7 mm respectivamente y -2.42 y -2.15 mm para la parcela agrícola, lo que también muestra que entre ambas mediciones hubo incremento en la partículas depositadas en ambos tratamientos. No hubo diferencias significativas en ninguna medición.



Estacionalidad (tiempo)	Media Ripario (mm)	Media Agrícola (mm)	p-value
Durante época lluvias (1)	0.3	-1.0	0.795
Inicio época secas (2)	-3.3	-0.5	0.393
Durante época secas (3)	4.1	2.1	0.586
Inicio época lluvias (4)	4.1	3.7	0.909

Figura 26. Sitio 3, prueba de t-student para comparar los dos tratamientos

El sitio tres mostró una dinámica diferente a la de los sitios uno y dos en la medición realizada durante la época de lluvias, ya que a diferencia de éstos, donde se había acumulado sedimento en ambos tratamientos, en el sitio tres sólo se acumuló en la parte del ecosistema ripario 0.2 mm, mientras que la parte agrícola hubo una pérdida de partículas superficiales del suelo con -1 mm. Esta disminución en el nivel del suelo con respecto a la marca inicial, se acrecentó al inicio de la época de lluvias en la parte riparia, ya que disminuyó a -3.3 mm. Sin embargo, durante la época de secas, la parte del ecosistema ripario acumuló 4.1 mm de sedimento y la parcela agrícola también acumuló sedimento (2.1 mm). En la medición del inicio de la época de lluvias, sólo la parte de la parcela agrícola tuvo cambios, incrementándose el nivel del suelo a 3.7 mm, mientras que la parte del ecosistema ripario permaneció sin cambios aparentes, sólo el error estándar disminuyó, haciendo más homogéneo las variaciones en el sitio. Cabe mencionar que no hubo diferencias significativas entre los diferentes tiempos de medición.

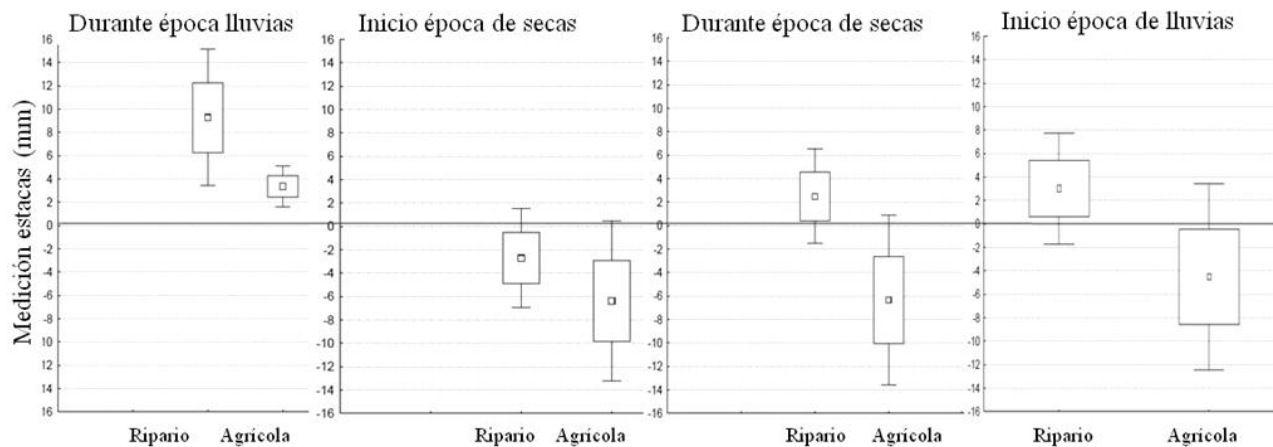


Estacionalidad (tiempo)	Media Ripario (mm)	Media Agrícola (mm)	p-value
Durante época lluvias (1)	7.2	3.0	0.556
Inicio época secas (2)	1.2	-6.0	0.081
Durante época secas (3)	3.1	2.0	0.799
Inicio época lluvias (4)	5.3	5.0	0.954

Figura 27. Sitio 4, prueba de t-student para comparar los dos tratamientos

El sitio cuatro mostró un comportamiento similar al del sitio dos, ya que a lo largo de los cuatro tiempos de mediciones tuvo una tendencia a acumular más sedimento en la parte del ecosistema

ripario, en relación con la parte agrícola. Durante la época de lluvias se registró una acumulación de sedimento de 7.2 mm, aunque presentó gran heterogeneidad, mientras que la parcela agrícola acumuló 3 mm y fue más homogénea. Al inicio de la época de secas se presentó la tendencia observada en los demás sitios, es decir, una disminución del nivel registrado en relación con la primera medición, sin embargo, sólo la parte agrícola registró valores por debajo de la marca inicial con -6 mm, mientras que el ecosistema ripario tuvo 1.2 mm de sedimentos retenidos. Durante la época de secas e inicio de la época de lluvias, ambos tratamientos acumularon sedimento siendo siempre mayor en la parte del ecosistema ripario, además el error estándar mostró una mayor homogeneidad en los valores. No se registró diferencias significativas en las cuatro mediciones.

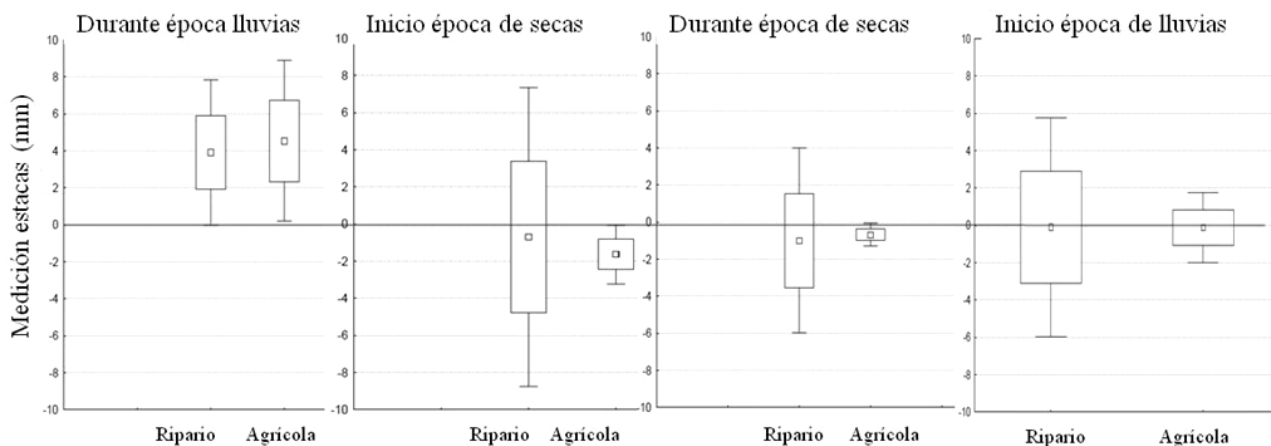


Estacionalidad (tiempo)	Media Ripario (mm)	Media Agrícola (mm)	p-value
Durante época lluvias (1)	9.3	3.4	0.047
Inicio época secas (2)	-2.7	-6.4	0.404
Durante época secas (3)	2.5	-6.3	0.091
Inicio época lluvias (4)	3.0	-4.5	0.172

Figura 28. Sitio 5, prueba de t-student para comparar los dos tratamientos

El sitio cinco al igual que los sitios dos y cuatro, mostró la tendencia en la cual el ecosistema ripario presentó valores con una mayor sedimentación y una menor pérdida de partículas superficiales, además este sitio fue el único de los seis sitios donde hubo una diferencia significativa, la cual se registró durante la época de lluvias, donde se acumuló significativamente

más sedimento en el ecosistema ripario que en la parcela agrícola con un valor de probabilidad de 0.047. En el inicio de la época de secas hubo una pérdida de partículas superficiales de suelo en ambos tratamientos, siendo mayor esta erosión en la parte agrícola. Durante la época de secas e inicio de época de lluvias, los valores registrados ambas mediciones fueron muy similares, en los que el ecosistema ripario retuvo sedimento (2.5 mm en ambos casos), mientras que la parte agrícola permaneció con niveles negativos (-4.5 mm por debajo del nivel del suelo inicial).



Estacionalidad (tiempo)	Media Ripario (mm)	Media Agrícola (mm)	p-value
Durante época lluvias (1)	3.9	4.5	0.844
Inicio época secas (2)	-0.7	-1.6	0.785
Durante época secas (3)	-1.0	-0.7	0.878
Inicio época lluvias (4)	-0.1	-0.7	0.993

Figura 29. Sitio 6, prueba de t-student para comparar los dos tratamientos

Por último en el sitio seis se observó una menor diferencia entre las mediciones de ambos tratamientos, siendo el comportamiento similar al del sitio uno. Durante la época de lluvias, la parte agrícola registró una mayor acumulación de sedimento con 4.5 mm y el ecosistema ripario tuvo 3.9 mm. En los demás tiempos los niveles de ambos tratamientos estuvieron por debajo de la marca inicial del suelo, es decir presentaron erosión y fueron muy similares entre sí. Cabe señalar que el error estándar fue mayor en el ecosistema ripario, como se ha observado casi en los demás sitios.

5.3. Determinación florística de la vegetación riparia. Propuesta de especies para la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca

Con base en los datos de campo y la colecta de partes vegetales de diversos individuos a lo largo de los ocho sitios establecidos, se identificó mediante bibliografía especializada, cotejo con ejemplares de herbario y ayuda de especialistas en botánica, a 22 especies en la zona de estudio que se distribuyen en 13 familias. La familia Asteraceae es la más numerosa en cuanto a número especies con 9. La frecuencia de especies en cada una de las familias determinadas se muestra a continuación (Figura 30):

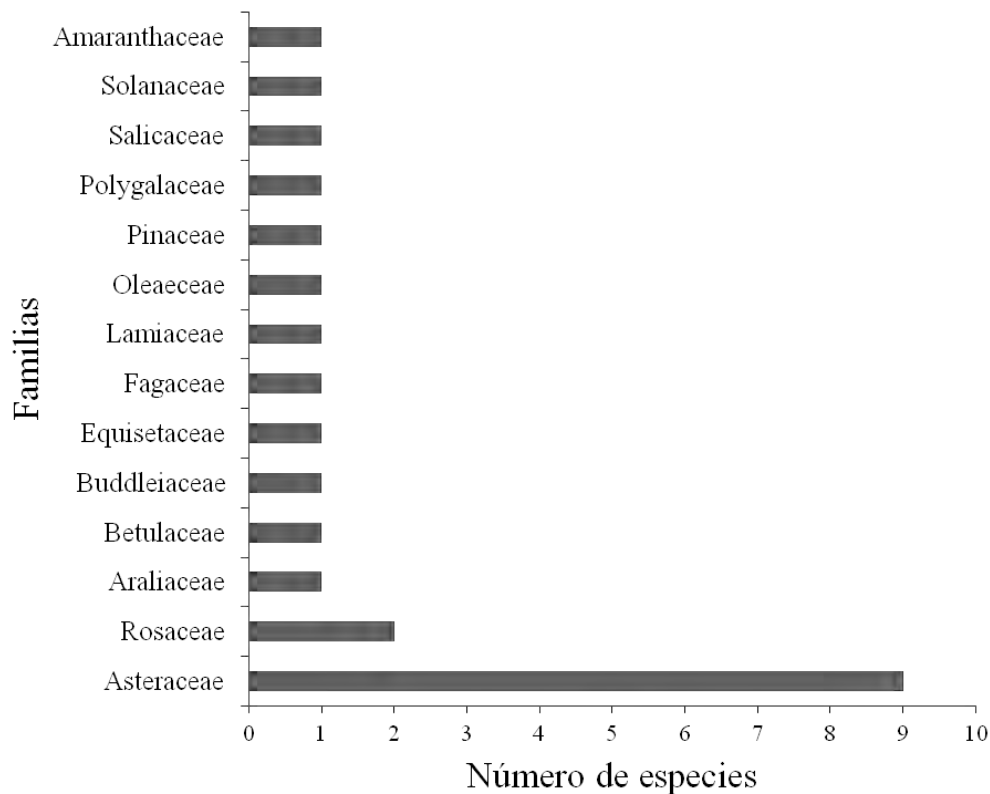


Figura 30. Distribución de frecuencias de las familias de la vegetación riparia

La contabilización en campo de la frecuencia de individuos de cada uno de los 8 sitios dio un total de 289 individuos (la matriz de frecuencias de individuos de cada especie por sitio en anexo 4). La forma de crecimiento que predominó fue la arbustiva con 63.6%, mientras que la arbórea fue representada con un 36.4%.

El nombre de las especies identificadas así como los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica se muestra en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Características de las especies identificadas en el ecosistema ripario

Ab.	Especies	Nombre común	Familia	Forma de crecimiento	Origen	Tipo de vegetación	Usos
Ox	<i>Oreopanax xalapensis</i> (Kunth) Decne. y Planch.	Palo de agua, <i>yich'acmut</i> o pata de pájaro	Araliaceae	Árborea	México y Centroamérica	Bosque de coníferas, de encinos, mesófilo de montaña, cañadas húmedas, zonas riparias y acahuales.	Fruto alimento de pájaros. Posible planta de ornato. Medicinal
Vo	<i>Verbesina oncophora</i> B. L. Rob. y Seaton	Apapatlaco	Asteraceae	Arbustiva	México	Bosque de encino y coníferas	Cicatrizante
Ran	<i>Roldana angulifolia</i> (D.C.) H. Rob. y Brettell	Guardalobo	Asteraceae	Arbustiva	México	Bosque de encino, de coníferas y mesófilo de montaña	n/d
Sm o	<i>Stevia monardifolia</i> Kunth	n/d	Asteraceae	Arbustiva	México (endémico)	Bosque de coníferas y de <i>Abies</i>	Edulcorante. Contiene terpenoides y varios metabolitos.
Bco n	<i>Baccharis conferta</i> Kunth	Azoyate, escobilla, escoba de monte, bashe	Asteraceae	Arbustiva	México (endémico)	Matorral xerófilo, bosque de encino, de pino, cultivos y zonas perturbadas.	Padecimientos estomacales, dolor de muelas, catarro.
Bsa	<i>Baccharis salicifolia</i> (Ruiz y Pavón) Pers.	Jara, vara blanca, hierba de carbonero.	Asteraceae	Arbustiva	América	Bosque de encino y matorral. Crece cerca de ríos, arroyos, caminos y zonas perturbadas.	Desinflamante y ayuda en la higiene femenina.
Aa	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Aile, aliso, abedul	Betulaceae	Árborea	México	Bosque de galería	Restauración de suelos degradados, fija N ₂ . Medicinal.
Bco r	<i>Buddleja cordata</i> Kunth	Tepozán, tepozán blanco.	Buddleiaceae	Árborea	México y Centroamérica	Bosque de encino, de oyamel, mesófilo de montaña. Vegetación secundaria.	Elaboración de papel, analgésica y antiséptica.
Qo	<i>Quercus obtusata</i> Humb. et Bonpl.	Roble, encino prieto, encino rojo.	Fagaceae	Árborea	México (endémico). 1430-2850 msnm.	Bosque de pino-encino, de pino, mesófilo de montaña y encinares perturbados.	Leña, carbón, cercas, horcones. Corteza con usos medicinales.
Sm a	<i>Satureja macrostema</i> (Moc. y Sessé ex Benth.) Briq.	Tabaquillo, té de monte	Lamiaceae	Arbustiva	México (endémico)	Bosque de encino, de oyamel, mesófilo de montaña	Problemas gastrointestinales, bilis y cálculos hepáticos. Té nurite.

Fu	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	Fresno, madre de agua	Oleaceae	Árborea	México	Bosque de galería, de pino-encino y mesófilo de montaña.	Restauración de sitios degradados. Ornato.
Pm	<i>Pinus michoacana</i> Martínez	Pino Michoacana, ocote escobetón	Pinaceae	Árborea	México (endémico)	Bosque de coníferas	Resina y elaboración de muebles, postes.
Mc	<i>Monnina ciliolata</i> DC.		Polygalaceae	Arbustiva	México (endémico)	n/d	n/d
Cp	<i>Crataegus pubescens</i> (Kunth) Steud.	Tejocote, Chisté, Manzanilla.	Rosaceae	Árborea	México hasta Ecuador	Bosque de coníferas, de encino, mesófilo de montaña y barrancas húmedas. Sitios perturbados y escarpados.	Frutos comestibles, extracción de pectina. Útil en restauración.
Rl	<i>Rubus liebmannii</i> Focke	Zarza	Rosaceae	Arbustiva	México (endémico)	Bosque de coníferas, de <i>Quercus</i> y márgenes de caminos, campos de cultivo, asociado a cursos de agua.	Frutos comestibles, ornamental, cerca viva.
Sb	<i>Salix bonplandiana</i> Kunth.	Sauce, ahuejote.	Salicaceae	Árborea	México y Centroamérica.	Bosque de galería, de pino-encino, tropical perennifolio, tropical caducifolio	Restauración. Ornato en calles y avenidas
Ca	<i>Cestrum anagyris</i> Dunal	n/d	Solanaceae	Arbustiva	México	Bosque de coníferas, de encino y mesófilo de montaña.	n/d
Ral	<i>Roldana albonervia</i> (Greenm.) H.Rob. et Brettell	Hoja ancha	Asteraceae	Arbustiva	México y Centroamérica.	Bosque de coníferas y encinos.	n/d
Ac	<i>Ageratina conspicua</i> (Kunth et Bouché) R.M.King et H.Rob.	n/d	Asteraceae	Arbustiva	México	Bosque de pino y encino perturbado. Matorral.	n/d
Id	<i>Iresine diffusa</i> Humb. et Bonpl. ex Willd.	Cabello de ángel, pluma y Juba's bush.	Amaranthaceae	Arbustiva	Sureste de EUA, Centro y Sudamérica	Bosques y matorrales. Vegetación secundaria.	En tratamientos de anemia. Alimento de animales domésticos.
Bm	<i>Baccharis multiflora</i> Kunth var. multiflora	Quappatli, Malinalli.	Asteraceae	Arbustiva	México (endémico)	Matorral en laderas de cerros, bosque de pino	Las hojas en infusión para tratamiento de catarro y problemas urinarios.
Bsq	<i>Brickellia squarrosa</i> B.L.Rob. et Greenm.	n/d	Asteraceae	Arbustiva	México	Cultivo de plátanos, cañadas húmedas de bosque mesófilo de montaña. Bosque de encino, pino.	Afecciones de estómago, diarrea y vermífugas.

(Sombreado: especies riparias)

De las 22 especies se encontró que siete especies son riparias, siendo cinco de crecimiento arbóreo (*Alnus acuminata*, *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh, *Oreopanax xalapensis* (Kunth) Decne. y Planch., *Crataegus pubescens* y *Salix bonplandiana* Kunth.) y dos arbustivas (*Baccharis salicifolia*, y *Rubus liebmannii*). De cada una de las especies consideradas riparias, se presenta su descripción técnica en el anexo IV.

Las especies riparias del área de estudio encontradas, son especies nativas de la zona, según el listado florístico de la cuenca del Río Balsas (1998), donde se encontró *O. xalapensis*, *A. acuminata*, *B. salicifolia*, *C. pubescens*, *R. liebmannii* y *S. bonplandiana* (Fernández *et al.*, 1998). Mientras en el listado de flora y vegetación de las zonas núcleos de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, se reportaron: *O. xalapensis*, *A. acuminata*, *C. mexicana* (sinonimia de *C. pubescens*) y *R. liebmannii*. En el listado de plantas vasculares reportadas para la RBMM se reportaron: *O. xalapensis*, *A. acuminata*, *F. uhdei*, *C. pubescens*, *R. liebmannii* y *S. bonplandiana* (CONANP, 2001). Por último Navarrete (2011) en su trabajo de manejo y diversidad arbórea reportó a: *O. xalapensis*, *Alnus acuminata*, *F. uhdei* y *C. mexicana* (sinonimia de *C. pubescens*), como especies nativas de la zona, en el municipio de Angangueo.

En el Cuadro 21, se presentan las cotas altitudinales superior e inferior en base a la literatura de la distribución de cada una de las especies riparias para la zona de estudio y la cota altitudinal superior registrada en campo. La cota de distribución altitudinal inferior de campo no se muestra debido a que el área de estudio tiene un límite inferior de 2500 msnm y todas las especies o coinciden con este límite o están por debajo de él.

Cuadro 21. Cotas altitudinales en las que se distribuyen las especies riparias

Especies	Cota teórica altitudinal inferior (msnm)	Cota teórica altitudinal superior (msnm)	Cota campo altitudinal superior (msnm)
<i>Crataegus pubescens</i>	1200	3000	2776
<i>Rubus liebmannii</i>	2100	2800	2776
<i>Alnus acuminata</i>	1300	2800	2867
<i>Baccharis salicifolia</i>	0	2800	2664
<i>Oreopanax xalapensis</i>	2500	2700	2729
<i>Fraxinus uhdei</i>	1100	2600	2729
<i>Salix bonplandiana</i>	1200	2500	2556

La altitud a la que convergen las especies riparias del área de estudio se presenta en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Distribución de las especies riparias

2867-2800	2799-2700	2699-2600	2599-2500
<i>Alnus acuminata</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Alnus acuminata</i>
	<i>Crataegus pubescens</i>	<i>Crataegus pubescens</i>	<i>Crataegus pubescens</i>
	<i>Rubus liebmannii</i>	<i>Rubus liebmannii</i>	<i>Rubus liebmannii</i>
	<i>Fraxinus uhdei</i>	<i>Fraxinus uhdei</i>	<i>Fraxinus uhdei</i>
	<i>Oreopanax xalapensis</i>	<i>Oreopanax xalapensis</i>	<i>Oreopanax xalapensis</i>
		<i>Baccharis salicifolia</i>	<i>Baccharis salicifolia</i>
			<i>Salix bonplandiana</i>

Se puede observar que la especie que se distribuye a mayor altitud, según datos de campo fue *Alnus acuminata*, a pesar que *Crataegus pubescens* tiene una altitud en literatura de 3000 msnm, no se incluyó porque corresponde a otras regiones y no necesariamente a la zona de estudio.

En la cota de los 2799 a 2700 msnm, se ubicaron cinco de las siete especies riparias de la zona: *Alnus acuminata*, *Fraxinus uhdei*, *Oreopanax xalapensis*, *Crataegus pubescens*, y *Rubus liebmannii*. *Salix bonplandiana*, tuvo la distribución a menor altitud de todas las especies riparias, encontrándose en el intervalo de los 2599 a 2500 msnm.

Las especies riparias que presentan algún uso potencial para los pobladores de la zona, se distribuyeron altitudinalmente de la siguiente manera en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Distribución de las especies riparias útiles a la sociedad

2867-2800	2799-2700	2699-2600	2599-2500
<i>Alnus acuminata</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Alnus acuminata</i>
	<i>Crataegus pubescens</i>	<i>Crataegus pubescens</i>	<i>Crataegus pubescens</i>
	<i>Rubus liebmannii</i>	<i>Rubus liebmannii</i>	<i>Rubus liebmannii</i>
	<i>Oreopanax xalapensis</i>	<i>Oreopanax xalapensis</i>	<i>Oreopanax xalapensis</i>
		<i>Baccharis salicifolia</i>	<i>Baccharis salicifolia</i>

De las especies riparias con un uso potencial, tres cuentan con un uso medicinal: *O. xalapensis*, *B. salicifolia* y *A. acuminata*; dos son comestibles alguna de sus partes: *C. pubescens* y *R.*

liebmannii; una tiene un uso de planta de ornato: *O. xalapensis*, sin embargo, este uso sólo se puede llevar a cabo mediante un adecuado de cultivo y se tendría que investigar el mercado potencial, por lo que *O. xalapensis*, su uso principal es el medicinal y posiblemente como alimento de aves. *A. acuminata*, es la única especie que se encuentra distribuida a lo largo de todos los rangos de altitud y presenta un uso adicional, fija nitrógeno atmosférico, por lo que se le emplea en campos de cultivo de maíz, frijol, pastos, café y mora silvestre para enriquecer el suelo y en potreros para pasturas (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999). De las cinco especies con uso potencial, dos se han empleado en restauraciones del ambiente: *A. acuminata* y *C. pubescens*. Hay que señalar que ninguno de los grupos vegetales, con las especificaciones que se han señalado incluyó especies vegetales del sitio uno de muestreo debido a que no presenta ninguna especie riparia.

Las especies riparias empleadas en procesos de restauración se presentan en el Cuadro 24.

Cuadro 24. Distribución de las especies riparias útiles en restauración ambiental

2867-2800	2799-2700	2699-2600	2599-2500
<i>Alnus acuminata</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Alnus acuminata</i>
	<i>Crataegus pubescens</i>	<i>Crataegus pubescens</i>	<i>Crataegus pubescens</i>
	<i>Fraxinus uhdei</i>	<i>Fraxinus uhdei</i>	<i>Fraxinus uhdei</i>
			<i>Salix bonplandiana</i>

Las cuatro especies presentan una forma de crecimiento arbóreo, siendo *A. acuminata*, la única que se desarrolla a lo largo de todo el gradiente altitudinal del presente estudio y *S. bonplandiana*, sólo se distribuye de los 2599 a 2500 msnm.

A. acuminata se ha empleado para controlar la erosión, estabilizando pendientes, fijando nitrógeno atmosférico. *C. pubescens* y *S. bonplandiana*, también se han empleado para controlar la erosión hídrica y eólica en suelo desprotegidos y con algún grado de degradación. *F. uhdei*, se ha empleado en la recuperación de suelos degradados e incluso se ha utilizado en la rehabilitación de sitios donde hubo una exploración minera.

En base a la distribución altitudinal de las cuatro especies riparias útiles en restauraciones del ambiente, se presenta un esquema de su distribución en la Figura 31.

Figura 31. Distribución altitudinal y por grupos de vegetación riparia sugerida para procesos de restauración en la zona de estudio



6. Discusión

Delimitación de los ecosistemas riparios

Las variables del presente estudio permitieron en primer lugar delimitar una subcuenca por el parteaguas, donde el agua que cae converge hacia un sitio o cauce común (Maass, 2003). Los rangos altitudinales permitieron conocer donde se distribuyen las comunidades vegetales en función del clima y sus etapas de sustitución (Costa, 1982; Pinto, 2000), para poder plantear propuestas de especies vegetales útiles en restauración en función de estos parámetros. A través de la clasificación de las órdenes de corriente de las subcuencas, se pudo inferir los procesos que ocurrían en cada cauce de río y de esta manera elegirlos, según los objetivos (Vannote *et al.*, 1980). Con el uso de suelo, se pudo analizar la función ambiental de sedimentación. Finalmente la escala de tramos es una manera de aproximarse, en este caso a los procesos de sedimentación-erosión, así como caracterizar y evaluar el ecosistema ripario (Frissell *et al.*, 1986).

Evaluación de la calidad de condiciones ambientales de los ecosistemas riparios

Para conocer el estado de calidad de las condiciones ambientales de los ecosistemas riparios se analizaron los resultados obtenidos de manera más focalizada, con los factores que más influyen en porcentaje, para la evaluación final (Junk *et al.*, 1989; Munné y Prat, 2013).

En la **época de lluvias** los componentes principales que integraron el **factor uno**, fueron: condición del canal, régimen hidrológico y la apariencia del agua. Estos parámetros se relacionan entre sí por el aumento del agua que fluye a lo largo del cauce, el cual por una parte provoca el desprendimiento de partículas y debilitamiento de las paredes de los taludes (USDA y NRCS, 1998). Así mismo los escurrimientos acarrear partículas provenientes de fuentes difusas, principalmente de zonas con escasa cobertura vegetal, lo que ocasiona turbidez (García y Jiménez, 2006). Con la confluencia de arroyos de primer orden el régimen hidrológico aumenta, sin embargo, éste se ve afectado por represamientos que comienzan entre el sitio dos y el tres, la desviación del curso del agua para regar los campos de cultivo, la toma de agua para consumo humano y para un criadero de trucha que se encuentra río abajo del sitio seis. Debido a estas incidencias, el régimen hidrológico se ve afectado, incluso en la época de lluvias. Esto se debe a la conexión e interrelación que hay en la red hídrica, que al alterar un elemento, éste repercute en otros segmentos del cauce (Vannote *et al.*, 1980; Naiman *et al.*, 1988).

El **factor dos** estuvo integrado por: cobertura del dosel, ancho de la zona riparia y vegetación riparia, elementos de la parte terrestre, con un 28.8% de explicación de la evaluación. La influencia de este factor radica en la vegetación riparia, tanto en la composición de especies, como en su amplitud a cada lado del cauce de corriente, lo que en conjunto permite estabilizar el talud, disminuye la entrada de sedimentos al agua, entre otros servicios (Granados *et al.*, 2006).

En la **época de secas**, los factores que confieren una mayor capacidad explicativa estuvieron formados por: régimen hidrológico, apariencia del agua, presencia de rápidos y enriquecimiento de nutrientes (factor uno: explicando 48.8% de la variación total de la evaluación) y por: cobertura del dosel y ancho de la zona riparia (factor dos: 21.7% de la variación del proceso); en conjunto ambos factores explican más del 70% de la evaluación.

El **factor uno**, presenta variables que se correlacionan entre sí, ya que en esta época los rápidos disminuyen, mientras que el enriquecimiento de nutrientes se incrementa de modo relativo por una menor dilución de nutrientes que llegan al agua, ya sea de los campos de cultivo y pastoreo, o por descargas domésticas (García y Jiménez, 2006). Este enriquecimiento de nutrientes ocasiona que haya más crecimientos algales (los cuales en concentraciones adecuadas ayudan como filtro de excedentes de nutrientes), lo que no es benéfico (Gómez, 2003), ya que su respiración y descomposición de materia en degradación consume oxígeno disuelto en el agua, lo que ocasiona estrés en los organismos acuáticos y una menor calidad de agua (USDA y NRCS, 1998).

Las bajas evaluaciones del enriquecimiento de nutrientes se presentaron río abajo, a partir del sitio cuatro, debido a sitios de libre pastoreo del ganado, zonas de descanso de caballos, donde se encontró por lo general la presencia de estiércol. El impacto del ganado sobre los ecosistemas riparios conducen a una contaminación en el agua de los ríos por exceso de nutrientes, patógenos y sedimentos, siendo una alternativa la reducción del tiempo que permanecen cerca de los ríos (Franklin *et al.*, 2009).

El régimen hidrológico fue el parámetro más conspicuo en la época de secas, ya que éste disminuyó. Esto se puede constatar con el promedio del ancho y la profundidad del flujo del tramo evaluado en la época de lluvias, que fue de: 148.5 cm de ancho por 15.7 cm de profundidad, mientras que en la época de secas fue de: 119.3 cm de largo por 6.4 cm de profundidad. El menor régimen hidrológico propicia que se reduzca el efecto de la dilución del agua. Caso contrario con el aumento del régimen hidrológico, la interacción entre la zona

hiporreica y la superficial, se hace más débil, haciendo que la interacción entre el agua superficial y la zona riparia se incremente (Gómez, 2003).

El **factor dos**, al igual que en la época de lluvias, agrupó a elementos de parte terrestre, como son la cobertura del dosel y el ancho de la vegetación riparia, que influyen en la calidad del agua, ya que como lo corroboraron García y Jiménez (2006), en ecosistemas riparios (Tascalapa, Honduras), las áreas rodeadas de bosques tenían mejor calidad del agua, además una mayor protección del suelo, poca evidencia de erosión y sustratos disponibles para la fauna, como hojarasca, troncos, grava y vegetación.

En relación con los sitios evaluados, es decir la parte que considera el gradiente altitudinal, tanto la evaluación de todos los parámetros, como únicamente considerando los componentes principales, dan como resultado que en ambas épocas: de lluvias y de secas, el sitio dos presentó la calificación más alta. Este resultado puede estar influenciado por su posición en la parte alta de la microcuenca, donde casi no hay influencia humana, que propicie la alteración del ecosistema, como lo han observado García y Jiménez (2006), en ríos de Honduras. Además la zona de influencia es menor en relación con sitios de la parte baja de la microcuenca. Sin embargo, esta misma posición en la microcuenca (2867 msnm), no propicia condiciones adecuadas para el establecimiento de vegetación propiamente riparia, lo cual se observó con las especies que se identificaron en esta zona. Las principales especies estaban constituidas por integrantes de la familia Asteraceae, coníferas distantes e individuos aislados de *A. acuminata*. En este sitio el índice de diversidad de Shannon-Wiener fue de 0.85. El sitio tres, por otra parte, que se ubicó a una altitud de 2776 msnm y a pesar de mostrar signos de perturbación, presentó especies riparias (*R. liebmanni* y *C. pubescens*) y un índice Shannon-Wiener de 1.31, mientras que el sitio cuatro tuvo un índice de diversidad de 1.41. Esta gradualidad en la que las especies riparias se desarrollan mejor a altitudes menores a los 2800 msnm, como la del sitio ocho con un índice de diversidad de 1.98 sugiere que hay variaciones en las comunidades vegetales a lo largo de los diferentes órdenes de corriente que comprende la red de drenaje, como lo establecido Vannote y colaboradores (1980).

Cabe mencionar que los índices de diversidad del presente estudio son similares a los encontrados por Alvarado (2010), en la cuenca del río Tocuyo, Venezuela, quien obtuvo un índice de diversidad de Shannon-Wiener de 2.13, el cual es bajo, para zonas tropicales en comparación con zonas templadas (como la del presente estudio). Treviño y colaboradores

(2001), reportaron valores de 1.74 de índice de diversidad de Shannon-Wiener, para bosques riparios del centro-sur, Nuevo León.

Por otra parte los sitios que presentaron la menor calificación fueron los sitios 3 (2776 msnm) y 5 (2664 msnm). Siendo la cobertura del dosel, ancho de la zona riparia, régimen hidrológico, estabilidad del talud y condición del canal, los parámetros con menor calificación. Los dos primeros se debieron a que ambos sitios presentaron disturbios, los cuales se ven reflejados en la vegetación, la cual está conformada por especies pioneras, es decir, plantas que colonizan zonas que previamente han sido alteradas, o presentan algún signo de deterioro (Zamora-Crescencio *et al.*, 2011). Por ejemplo el sitio 5 por ser una de las pocas zonas planas a lo largo del cauce principal de la zona de estudio, sirve para reposo y pastoreo de ganado, que propicia la compactación y erosión del suelo, propiciando que se establezca especies como: *Baccharis conferta*, *Buddleja cordata* y *Ageratina conspicua*, que de acuerdo con sus características se establecen en sitios con algún grado de disturbios, como suelos erosionados y en vegetaciones secundarias asociada con terrenos de cultivo (Romero *et al.*, 2003; Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009). Además una cobertura vegetal incipiente propicia una mayor temperatura tanto en la parte terrestre como acuática, lo cual favorece una mayor evaporación y evapotranspiración, que se ve reflejado en menor humedad del ecosistema (Peraza, 2009). También la estabilidad del talud se ve influenciada por la falta de vegetación (debido a una angosta o inexistente franja de vegetación en las orillas del río), ya que en las orillas de los cauces prácticamente no hay vegetación que retenga el suelo y ante crecidas del caudal pueden erosionarse los taludes (Alianza para las Montañas, 2010). El régimen hídrico, se vio afectado por la estacionalidad, ya que en áreas templadas se presenta la abscisión de las hojas al principio o durante la estación seca, haciendo que la fronda de los árboles sea menor y por lo tanto la cobertura del dosel disminuye (Mandujano *et al.*, 2004). Todos estos factores tienen incidencia en la dinámica del cauce de corriente y en la regeneración del sistema.

Los protocolos, para evaluar ecosistemas riparios consideran diversos parámetros. Unos se enfocan en la parte vegetal, analizando el estado sucesional, número de estratos forestales, composición florística, grado de madurez de la masa, contenido de hojarasca y anchura a ambos lados del bosque ribereño (Peraza, 2009). Otros estudios evalúan la funcionalidad de los ecosistemas riparios basados en indicadores construidos con componentes de vegetación, suelo, agua, morfología del cauce y los disturbios (Zepeda *et al.*, 2002). Sin embargo, la

implementación del presente protocolo permite conocer de manera adecuada, rápida y concisa, a la vegetación riparia, las condiciones del cauce de corriente y los disturbios. Además permite a los integrantes de las comunidades evaluar el estado de calidad de sus ecosistemas riparios.

El análisis del protocolo y las variables para seleccionar los sitios permitieron determinar los parámetros que más influyeron en el estado de calidad del ecosistema ripario, de manera espacial y temporal, lo que puede propiciar la priorización de esfuerzos. Cabe mencionar que dada la alta sensibilidad a la degradación, que reflejan estos ecosistemas, ésta evaluación permite identificar de forma rápida y confiable el estado de calidad de condiciones ambientales (Zepeda *et al.*, 2002).

Evaluación de retención de sedimentos

De la evaluación de retención de sedimentos, **durante la temporada de lluvias** se observó que ambos tratamientos en promedio, tienen la capacidad de retener sedimentos. En las parcelas agrícolas abandonadas, la interacción de la cobertura vegetal conformada por gramíneas y herbáceas (76% en promedio), suelos con densidades aparentes bajas-medias propiciaron que se atraparan partículas movilizadas y se infiltrara el agua de los escurrimientos (Lal, 1983; Hession *et al.*, 2003; Morgan, 2005; García-Chevesich, 2008a). Lo anterior aunado al descanso de las parcelas agrícolas que en promedio fue de cinco años (según lo reportado por los dueños de las parcelas), evitó procesos erosivos mayores que si hubieran estado sometidos a labranza (Matisoff *et al.*, 2002). Mientras que el ecosistema ripario al contar con diferentes estratos de vegetación, que disminuyen la velocidad de los escurrimientos y sirven de barreras naturales permiten que llegue a los cauces de corriente, según lo reportado por Anderson y Masters (2003), sólo un 5.2% del total de sedimentos que son movilizadas desde pendiente arriba. Lo anterior aunado a densidades aparentes bajas del suelo (debido a la materia orgánica y detritus depositados por las crecidas del río), como la del sitio tres de 0.68 gr/cm^3 , que estabiliza la estructura del suelo y da mayor porosidad, así como una pendiente ligera, que en conjunto le confiere la capacidad de infiltrar los escurrimientos, que acarrear sedimentos permitiendo que estos se depositen (FAO, 2000; León, 2001; Norris, 2001; Morgan, 2005; Granados *et al.*, 2006). Además los componentes subterráneos (raíces) de las especies riparias constituyen una variable indispensable en cuanto al control de la erosión y la sedimentación, pues mantienen el suelo en su lugar (García-Chevesich, 2008a).

Los resultados obtenidos en los sitios dos, tres, cuatro y cinco reflejan que el ecosistema ripario acumuló más sedimento llevando a cabo la función ambiental de retención (Rivera *et al.*, 1998; González y García, 2001; Norris, 2001; Granados *et al.*, 2006).

No obstante los sitios uno y seis, durante la primera medición mostraron una acumulación de sedimentos mayor en la parte de la parcela agrícola en descanso, que en el ecosistema ripario. Esto pudo deberse en el sitio uno a que la densidad aparente fue baja, lo que propicia una mejor conducción hidráulica (Morgan, 2005). Mientras que en el sitio seis posiblemente se debió a la pendiente que iba de 6 a 10°, ya que este factor influye en la distancia a la que se desplaza una partícula de suelo desprendida por el impacto de una gota de lluvia, disminuyendo su velocidad en pendientes poco pronunciadas y dando lugar a la sedimentación (García-Chevesich, 2010a).

Al **inicio de la época de secas** fue característico, en ambos tratamientos de los seis sitios, la pérdida de suelo en relación con la marca inicial, siendo mayor en la parte agrícola. Esto sugiere que en algún punto de la medición realizada entre la época de lluvias, hasta el inicio de la época de secas, se dieran flujos superficiales producto de los 840.4 mm de agua que se registraron entre estos períodos (Morgan, 2005; García-Chevesich, 2010a). Lo que concuerda con el principal rasgo de erosión que fueron flujos de escorrentía y que propició una mayor pérdida de suelo en los seis sitios. Estos rasgos son uno de los principales agentes que movilizan las partículas desprendidas (Morgan, 2005). Además este tipo de erosión hídrica involucra la pérdida de materia orgánica, partículas finas y la destrucción de agregados de la superficie del suelo, lo que ocasiona una disminución de la capacidad de infiltración (Cotler *et al.*, 2006).

A pesar de dicha erosión, el ecosistema ripario tuvo la menor movilización de partículas en los sitios uno, dos, cuatro, cinco y seis. Esto pudo estar influenciado por la presencia de las especies *Alnus acuminata*, *Salix bomplandiana*, *Rubus liebmannii* y *Baccharis salicifolia*, correspondientes a lo identificado en este piso bioclimático (mesotropical superior), las cuales junto a las especies herbáceas brindan estratificación que amortigua el impacto erosivo de la lluvia, que desprendería partículas sin ésta protección (Stocking y Murnagham, 2003).

Mientras que en las parcelas agrícolas de estos sitios hubo más erosión. Lo cual coincide con los rasgos identificados en campo, que fueron: flujos de escorrentía, terracetas y pedestales. Aunado a 1) compactación del suelo probablemente por prácticas de labranza y el pisoteo de los animales de tiro, 2) terracetas, que son evidencia también de presión en el suelo que produce compactación (Núñez, 2001), 3) disminución en la cobertura del suelo (por pastos y herbáceas), ya que

correspondió a la época de estiaje durante la época invernal, en la que la mayoría de la vegetación pierde cobertura en sus diferentes estratos (INEGI, 1997). Estos factores en conjunto pudieron propiciar la erosión observada (Núñez, 2001; Cotler *et al.*, 2006; García-Chevesich, 2010a; FAO, 2012).

Únicamente el sitio tres tuvo un comportamiento diferente a los demás sitios, ya que el ecosistema ripario registró mayor pérdida de suelo que la parcela agrícola. Esto se debió posiblemente a que el sitio presentó la segunda mayor cobertura de pastos que tiene la capacidad de atrapar y acumular sedimentos (Lal, 1983; Hession *et al.*, 2003), su baja densidad aparente y ligera pendiente (Pando *et al.*, 2003; Morgan, 2005).

En las mediciones que correspondieron a la **época seca**, en ambos tratamientos hubo acumulación de sedimentos, en relación con la medición anterior (final de la época de lluvias e inicio de la época de secas). Sin embargo, en promedio, el nivel de la parte agrícola continuó por debajo de la marca inicial del suelo (tiempo cero), mientras que en el ecosistema ripario hubo acumulación de sedimentos, lo cual muestra la capacidad del ecosistema ripario de retener sedimentos debido a las características de la vegetación y del suelo (León, 2001; Zaimes *et al.*, 2004).

En ambos casos, las acumulaciones de sedimentos, se vieron influenciadas por un evento de precipitaciones preliminar a la toma de datos (mes de febrero), que movilizaron partículas, quedando parte retenidas al pasar por ambos tratamientos.

La tendencia de acumular más sedimento en la parte riparia, durante esta medición, se dio en los sitios dos, tres, cuatro y cinco. Lo que evidencia su mayor capacidad de amortiguar procesos erosivos y retener sedimentos movilizados, que zonas con pastos y herbáceas (Zaimes *et al.*, 2004).

La pedregosidad influyó en los sitios uno y seis, como protección del suelo (Lal, 1983; León, 2001), ya que estos sitios permanecieron con mediciones similares en ambos tratamientos.

Por último, lo observado en la cuarta toma de datos, que correspondieron al **inicio de la época de lluvias**, fue la única medición, donde todos los sitios, el tratamiento del ecosistema ripario presentó una acumulación de sedimentos por encima del tratamiento de la parcela agrícola en descanso. Esto se relaciona con el inicio de la temporada de lluvias, que produjeron escurrimientos superficiales y movilizaron sedimentos, quedando retenidos por los tallos de la vegetación riparia (Stocking y Murnagham, 2003), así como por ciertas características edáficas,

como: densidad aparente baja, estructura subangular y contenido teórico de materia orgánica medio, que favorecen la conductividad hidráulica y el almacenamiento de agua (FAO, 2000; Dörner y Dec, 2008).

Únicamente el sitio uno, presentó erosión en ambos tratamientos, siendo menos pronunciado en el ecosistema ripario, donde descendió -1.2 mm, mientras que la parcela agrícola fue de -2,4 mm. Posiblemente influenciado por la pendiente que iba de 24° a 17° en la parte agrícola, lo que propició escurrimientos a mayor velocidad y por lo tanto mayor erosión hídrica. Mientras que en el ecosistema ripario la pendiente fue de 1°, 7° y 17°, que le confirió menos susceptibilidad a la erosión hídrica (García-Chevesich, 2010a).

La mayor capacidad de acumular sedimentos por el ecosistema ripario (González y García, 2001; Norris, 2001; Granados *et al.*, 2006), según la tendencia observada en las cuatro mediciones y la diferencia significativa observada en el sitio cinco en la primera medición con un *p-value* de 0.047, concuerda con Clifton (1989) en ríos Oregón (EU); Hession y colaboradores (2003), para ríos del sureste de Pennsylvania (EU); Sweeney y colaboradores (2004) en ríos al pie de monte del este de EU; McBride y colaboradores (2008), en ríos de Wisconsin (EU), y Trimble (2010), en ríos de Vermont (EUA). Lo que nos da una idea de lo importante que son estos ecosistemas, para retener sedimentos provenientes de laderas e incluso para amortiguar problemas de contaminación difusas provenientes de zonas urbanizadas (Ceccon, 2003).

Determinación florística de la vegetación riparia. Propuesta de especies para la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca

De las 22 especies que se colectaron e identificaron en el área de estudio, sólo siete son riparias, es decir, que de acuerdo con la literatura, éstas crecen y se distribuyen a lo largo de las orillas de ríos, arroyos, cerca de bancos de corrientes, donde el suelo presenta características de humedad y la evapotranspiración anual juega un factor importante en la humedad que requiere dicha vegetación para su desarrollo (NOM-062-SEMARNAT-1994; Granados *et al.*, 2006; Díaz *et al.*, 2010; INE, 2013). Cabe mencionar que vegetación riparia es considerada azonal (Treviño *et al.*, 2001), es decir que no está influenciado totalmente su desarrollo por el clima, sino que hay otras condiciones ambientales como el aporte hídrico de ríos y arroyos en la matriz del suelo, que determinan su desarrollo y expresión (Gómez, 2003; González-Medrano, 2004). Aunque hay algunas especies que presentan tolerancias ecológicas muy vastas y ampliamente distribuidas

(*Platanus sp.*, *Populus sp.*, *Salix sp.* y *Taxodium sp.*), o restringidos a condiciones de temperaturas elevadas (*Ficus sp.*, *Inga sp.*, *Bambusa sp.*, *Pachira sp.* y *Astianthus sp.*), o especies propias de climas templados, como *Alnus sp.*, *Acer sp.*, *Fraxinus sp.* y *Carya sp.* (Rzedowski, 2006). A las consideraciones previas, hay que mencionar, que es frecuente que otras especies que crecen en comunidades vecinas también lo hagan en las márgenes de ríos creándose asociaciones vegetales que varían en densidad y diversidad florística (Villarreal *et al.*, 2006; Lot *et al.*, 2012). Dentro de las siete especies riparias encontradas a lo largo de los ocho tramos de ríos, seis especies corresponden a vegetación en alguna etapa de sucesión secundaria. Este tipo de vegetación se desarrolla en sitios con algún grado de disturbio en orillas de ríos, como los provocados por el cambio en el uso del suelo, crecidas en los ríos por tormentas de retorno, incendios naturales, caída de árboles por vientos fuertes, extracción selectiva de árboles y actividad agropecuaria. Esta situación origina cambios en la estructura y composición florística, variable en función del tiempo de abandono (Zamora-Crescencio *et al.*, 2011). Dichas especies son: *Oreopanax xalapensis* que se ha encontrado creciendo en acahuals (Martínez *et al.*, 2001), *Baccharis salicifolia* en zonas con algún grado de disturbio (Mondragón y Vibrans, 2009), *Alnus acuminata* se ha reportado en zonas en sucesión secundaria (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999; O'Keefe *et al.*, 2010), *Crataegus pubescens* se ha reportado creciendo en sitios con signos de disturbios (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999), *Salix bonplandiana* se le reporta como especie pionera (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999; O'Keefe *et al.*, 2010) y *Rubus liebmannii* en zonas con disturbios, como las originadas por caminos (Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 2005).

La importancia de conocer las especies que forman parte de una vegetación secundaria radica en el hecho de que se pueden emplear para ir modificando las características de sitios que presentan signos de disturbio, propiciando mejores condiciones en los ecosistemas riparios, útil en procesos de restauración ecológica. Además dichas especies pueden presentar una serie de potencialidades biológicas, como rápido crecimiento y adaptaciones a condiciones extremas, lo que puede ser benéfico en sitios que requieran alguna forma de restauración (Gómez-Pompa *et al.*, 1976).

Por consiguiente a la selección de especies, para restauraciones ecológicas, propuestas en los resultados (que se realizó con base en la literatura), también habría que añadirle a las que forman parte de la vegetación secundaria o al menos considerarlas para estudios posteriores, para probar su efectividad. Por lo que a las especies: *A. acuminata*, *F. uhdei*, *C. pubescens* y *S. bonplandiana*, se podrían sumar *Baccharis salicifolia*, debido a que en el área de estudio se le encontró en sitios

que presentaban signos de perturbación, como pastoreo. Condiciones similares, para *B. salicifolia* fueron encontradas por Pérez y colaboradores (2001) en la desembocadura del río Mazahua, donde encontraron la presencia de unos cuantos individuos de *B. salicifolia*, en una región que anteriormente según comentarios de los pobladores formaba un matorral ribereño y que ahora el sitio sufría de un disturbio constante por pastoreo y por ello es probable que se trate de una comunidad secundaria (Pérez *et al.*, 2001). Lo cual indica que es una especie que tolera condiciones de disturbio y puede ser usado en restauraciones con enfoque de sucesión secundaria. Además de *Oreopanax xalapensis* y *Rubus liebmannii*, que como se ha señalado también se les asocia a sitios en alguna etapa de sucesión secundaria (Martínez *et al.*, 2001; Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 2005).

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, las siete especies riparias del área de estudio pueden ser útiles en procesos de restauración y no sólo las cuatro especies que se habían indicado previamente en los resultados. Estos resultados permiten sugerir que para los proyectos de restauración es adecuado considerar distintas fases de sucesión secundaria de los ecosistemas riparios. Una manera de aproximarse a esto, fue en base a diferentes estados de calidad de los ecosistemas riparios, ya que uno con evaluación baja indica mayor signo de disturbio ya sea antrópico o natural, mientras que uno con evaluación favorable indica un ecosistema con menos disturbios y que puede proporcionar más servicios ecosistémicos y ofrecerá condiciones para el desarrollo de las cadenas tróficas y estructura del hábitat (O'Keefe *et al.*, 2010). En este sentido se realizó una prueba adicional con los datos obtenidos en ambas estaciones: secas y lluvias, en la evaluación del estado de calidad del ecosistema ripario, donde se promediaron los resultados obtenidos en ambas estaciones (ya que representan el estado de calidad en el tiempo de cada uno de los sitios) y se analizaron mediante una matriz en un análisis de cluster. Los resultados se detallan en la Figura 32.

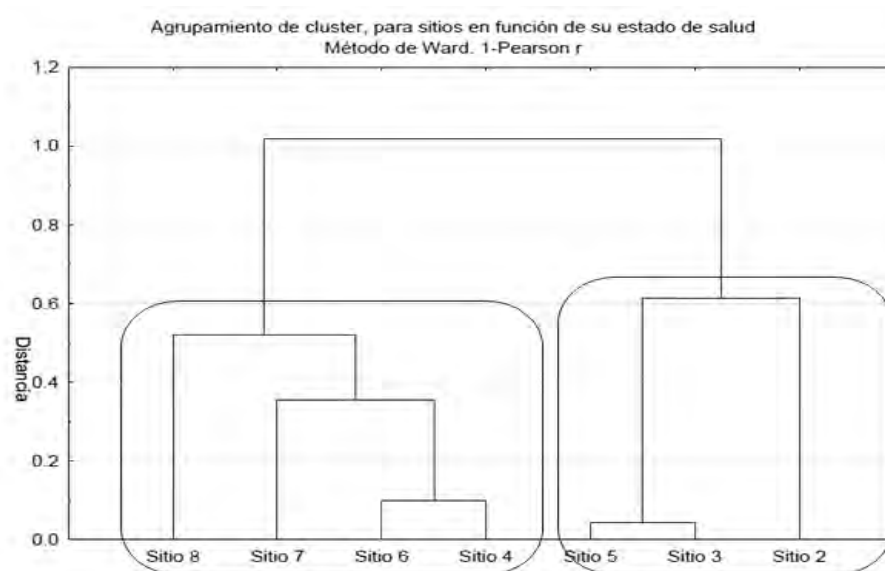


Figura 32. Agrupamiento de sitios según sus diferentes estados de calidad

Del análisis de cluster se puede observar que se agrupan a una menor distancia entre ellos, es decir, más estrechamente los sitios tres (2776 msnm) y cinco (2664 msnm), que fueron los que presentaron las calificaciones más bajas con 6.5 y 6 respectivamente, como promedio de las temporadas de secas y lluvias, así como los sitios cuatro (2729 msnm) y seis (2615 msnm) que son los sitios que presentaron calificaciones de 7.5 y 7, es decir, de categoría intermedia. Por último en ambos casos a una mayor distancia de similitud, se une el sitio dos (2867 msnm) a los sitios tres y cinco, mientras que los sitios siete (2556 msnm) y ocho (2514 msnm) se unen al cuatro y seis. De estos agrupamientos se indican en el Cuadro 25, las especies que presenta cada uno y para qué tipos de estado de calidad se recomiendan, según lo determinado en campo.

Cuadro 25. Agrupamientos de las especies riparias, según el estado de calidad del ecosistema

Plantas para sitios con estado de calidad bajo	Plantas para sitios con estado de calidad regular o medio
Sitios 2*, 3 y 5	Sitios 4, 6, 7 y 8
<i>Baccharis salicifolia</i>	<i>Baccharis salicifolia</i>
<i>Crataegus pubescens</i>	<i>Crataegus pubescens</i>
<i>Rubus liebmanni</i>	<i>Rubus liebmanni</i>
<i>Alnus acuminata</i>	<i>Alnus acuminata</i>
	<i>Fraxinus uhdei</i>
	<i>Oreopanax xalapensis</i>
	<i>Salix bonplandiana</i>

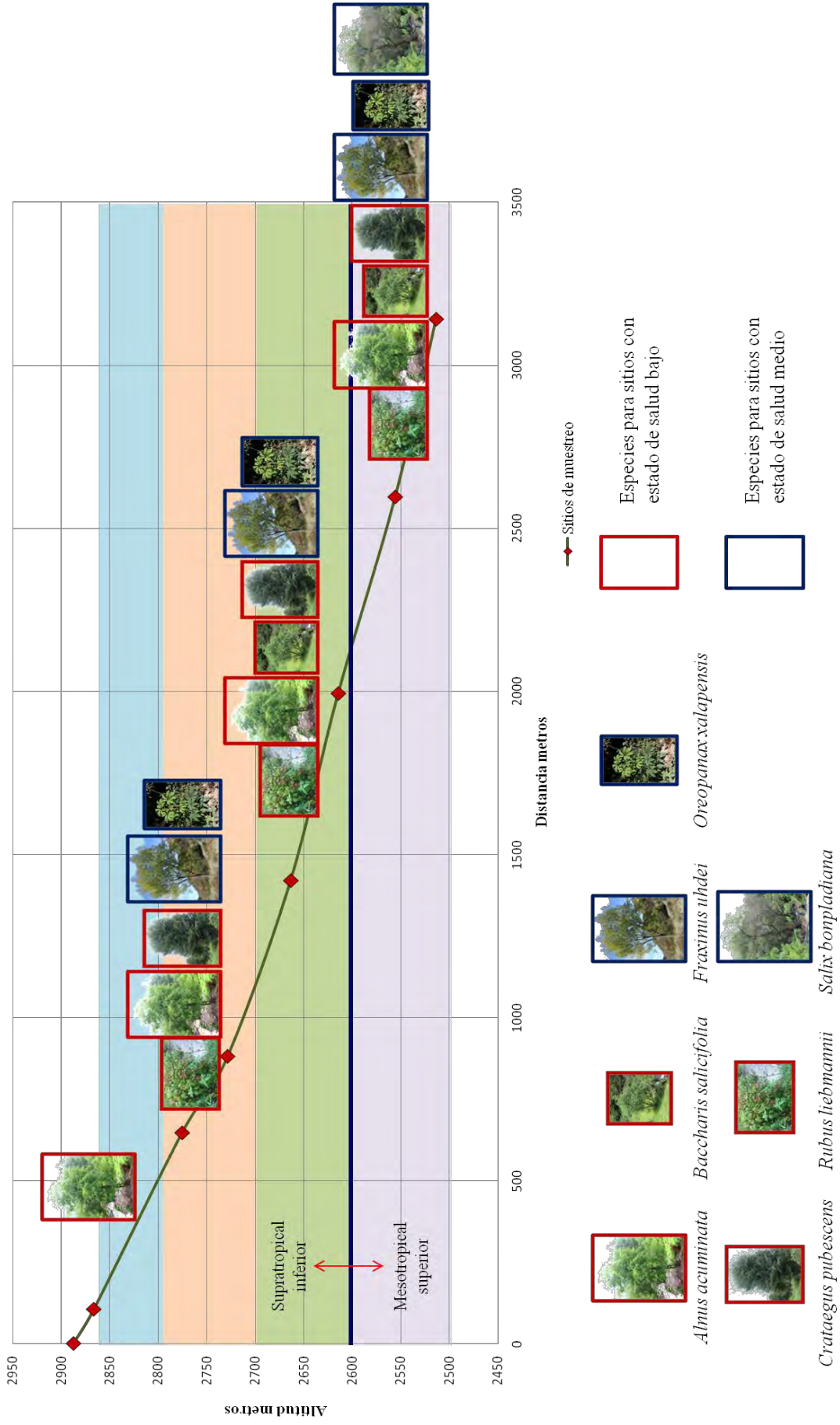
De esta manera las especies riparias del agrupamiento de los sitios dos, tres y cinco, son las especies que se pueden emplear en tramos de ríos con condiciones de bajo estado de calidad o en sucesiones secundarias iniciales, es decir con baja estabilidad del talud, poca o nula cobertura del dosel, ancho de la zona riparia menor al ancho del cauce o incluso inexistente, condición del canal alterado, donde el ganado pastorea libremente o evaluaciones en general de calidad similares (USDA y NRCS, 1998).

El sitio dos, a pesar que obtuvo una calificación promedio de 8, es decir, de categoría buena y la más alta de los ocho sitios, posiblemente se incluye en este agrupamiento debido a su similitud en las evaluaciones de la cobertura del dosel y la vegetación riparia, donde sólo se reportó una especie riparia y la cobertura de vegetación era menor al 20%. Este sitio tiene una altitud de 2867 msnm, donde pocas especies riparias logran establecerse, siendo una de estas *A. acuminata*, la cual también tiene la capacidad de establecerse en sitios con degradación, como el sitio cinco, donde se observaron brotes de 30 cm aproximadamente a 1 m de alto. El sitio cinco presenta un estado de calidad más bajo, lo que nos habla del potencial de desarrollo de esta planta en este tipo de condiciones (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999; O’Keefe *et al.*, 2010). Además de *A. acuminata*, en este agrupamiento están las especies *B. salicifolia*, *C. pubescens* y *R. liebmannii*, las cuales se reportan que se establecen en sitios con signos de degradación o de difícil establecimiento, lo que se ejemplifica en estos sitios (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999; Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 2005; Mondragón y Vibrans, 2009). Además *A. acuminata* mejora las condiciones del suelo, incorporando nitrógeno en él (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).

Por otro lado, los sitios que presentaron evaluaciones del estado de calidad de categoría regular a bueno (4, 6, 7 y 8) tuvieron una mayor estabilidad en el talud, a pesar de mostrar evidencias de ganado y alteraciones en el régimen hidrológico. Lo cual en conjunto evidencia una de las funciones de este ecosistema de estabilizar los taludes y de controlar la erosión (González y García, 2001; Norris, 2001; Granados *et al.*, 2006). Además presentaron a las 7 especies riparias, lo que ejemplifica condiciones más favorables para su establecimiento dado un mejor estado de calidad. Sin embargo, hay que recalcar su categoría de regular, por lo que aun así deben aplicarse medidas tendientes a su restauración.

El resultado de este análisis, que consideró la distribución altitudinal de las especies riparias y los estados de calidad de los ecosistemas, dónde se les identificó, se resume en la Figura 33.

Figura 33. Propuesta final de especies riparias según su distribución y el estado de calidad del ecosistema, para emplearse en restauración.



En el esquema anterior se puede observar cada una de las siete especies riparias según su distribución altitudinal. Además en rojo se identifican a las especies que, según lo observado con datos de campo, se desarrollan en sitios con estados de calidad bajo y con azul a los que se desarrollan en ecosistemas riparios con estados de calidad medios o regulares. Este esquema puede guiar las decisiones sobre las especies útiles para restaurar ecosistemas riparios en función del piso altitudinal y del estado de calidad de condiciones ambientales de estos ecosistemas.

Estudios de sucesión secundaria en ecosistemas riparios, han demostrado incremento en la riqueza y la diversidad en las especies arbóreas y arbustivas, así como dominancia de especies herbáceas (Chapla y Campos, 2011). Otros estudios han observado que con el desarrollo de especies arbóreas, como *Alnus* sp., se permite la deposición de detritus (restos de madera), que posibilitan el establecimiento de coníferas cerca del cauce de la corriente, en zonas templadas, lo cual representa un ejemplo de un proceso de sucesión riparia. (O'Keefe *et al.*, 2010).

Otro enfoque diferente utilizado en la selección de especies riparias, fue escoger a aquellas especies que tenían un uso para la población comestible, medicinal y de ornato, para las comunidades aledañas, así como el de restauración. La información para dicho fin se obtuvo de la revisión bibliográfica que se plasmó en el Cuadro 20. Este enfoque es útil, debido a que las personas, no sólo necesitan saber que deben conservar, proteger y/o restaurar, sino que tienen la necesidad de alimentarse y cubrir sus diversas necesidades (Bray y Merino, 2004).

Entre las siete especies riparias se identificó un uso potencial para *O. xalapensis*, *B. salicifolia* y *A. acuminata*, con un uso medicinal; *C. pubescens* y *R. liebmanni* son comestibles alguna de sus partes, y *O. xalapensis*, tiene un uso de ornato, medicinal y posiblemente como alimento de aves. Además *A. acuminata*, presenta un uso adicional, ya que al fijar nitrógeno atmosférico, se le emplea en campos de cultivo de maíz, frijol, pastos, café y mora silvestre, para enriquecer el suelo con este elemento; además de potreros para crecimiento de pasturas y como sombra para el ganado (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999). También hay especies que cuentan con un uso maderable, como *A. acuminata*, para la fabricación de artículos artesanales, mangos de herramientas, para obtener pulpa para papel de buena calidad y como leña (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).

Este enfoque del uso de los recursos naturales, incluso los maderables en este tipo de ecosistemas, debe basarse en el empoderamiento de los dueños de la tierra, para que a su vez se lleve a cabo su protección y conservación (Bray y Merino, 2004). Ya que la historia nos ha dado lecciones, donde el crecimiento de la población y la mercantilización han traído consecuencias en

la manera de manejar la tierra, donde las comunidades y/o ejidos han cedido en muchos casos, sus derechos a terceros que al no importarles de donde los extraigan han arrasado con los recursos maderables, incluso cuando se han impuesto vedas (Merino, 2003). Sin embargo, hay ejemplos donde los propietarios de las tierras han retomado su papel como dueños originales de las tierras, siendo este el caso de Capulálpam de Méndez, en la Sierra Norte de Oaxaca, donde la gente mediante un manejo sostenible, ha formado toda una empresa en base al cuidado y aprovechamiento de sus recursos maderables (Comentario personal, Martín Sánchez-Vilchis, 2013).

En este sentido se deben enfatizar los derechos y las necesidades de las comunidades, para que alcancen un manejo sostenible, la conservación de los bosques y la promoción del desarrollo comunitario, donde se incremente y desarrolle el capital social. Este concepto reciente sugiere que las relaciones sociales de varios tipos constituyen un factor determinante para el éxito de los procesos de desarrollo, la producción económica e incluso la conservación, incluye elementos como el conocimiento, la comprensión, las normas, reglas y expectativas compartidas sobre los patrones de interacción de los grupos de individuos (Merino, 2003; Bray y Merino, 2004).

En términos generales, en la propuesta para la selección de especies que se pueden emplear en la restauración de ecosistemas riparios en la Reserva de la Mariposa Monarca, se consideró lo siguiente:

1. La selección de sitios, debido a la variación ambiental que presentan los cauces fluviales tanto lateral, como longitudinalmente (Vannote *et al.*, 1980).
2. La condición del disturbio, ya que los ecosistemas riparios son muy dinámicos (Treviño *et al.*, 2001), por lo que árboles, arbustos y herbáceas deben estar adaptados fisiológicamente a las crecidas periódicas de las inundaciones, la erosión y sedimentación (O’Keefe *et al.*, 2010). La evaluación de la calidad de las condiciones ambientales sería útil, para determinar las especies empleadas en sitios con diferentes estados de calidad.
3. La velocidad de crecimiento de las especies, como *A. acuminata*, que además crece en zonas abiertas y disturbadas (CATIE, 1995), así como *F. uhdei* y *S. bonplandiana* (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).
4. Emplear especies tanto arbóreas (*Alnus acuminata*, *Fraxinus uhdei*, *Oreopanax xalapensis*, *Crataegus pubescens* y *Salix bonplandiana*) como arbustivas (*Baccharis salicifolia*, y *Rubus*

liebmannii), ya que lo reportado, para bosques secundarios, es de dos a tres estratos (Peraza, 2009). Esta estratificación, brindará más hábitats a distintas especies y darán protección al suelo, además de estabilizar los taludes y controlar la erosión (Morgan, 2005).

5. Especies que mejoren las condiciones en el suelo y no solo eviten o contengan la erosión. Para este fin *A. acuminata* es una especie que tiene la propiedad de fijar nitrógeno atmosférico. Mientras que *F. uhdei* además de ayudar a controlar la erosión y estabiliza las pendientes y taludes, también se ha observado que puede rehabilitar suelos donde ha habido explotaciones mineras (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999). Esta característica es importante, ya que cerca se observan jales producto de los beneficios de minerales que se han extraído en la zona.

6. El uso potencial que presentan ciertas especies riparias para los pobladores de las comunidades aledañas, lo cual permitirá que mediante su uso conserven su capital natural (Bray y Merino, 2004).

7. Conclusiones

Siguiendo los tres principales objetivos de este estudio es posible concluir que:

- ◆ El protocolo de evaluación visual empleado, que contempla diversas variables del ecosistema permitió tener una visión de la calidad de las condiciones ambientales del sitio a evaluar de manera rápida.
- ◆ Se observó que los primeros sitios, ubicados río arriba, tiene condiciones ambientales más conservadas, mientras que a lo largo del cauce principal río abajo hay una mayor variabilidad producto de las diversas actividades humanas.
- ◆ Se determinaron los factores que más influyen en la calidad ambiental de los ecosistemas riparios, los cuales consideraron a la condición del canal, régimen hidrológico, apariencia del agua/enriquecimiento de nutrientes, cobertura del dosel, ancho de la zona riparia y vegetación riparia. Los cuales pueden verse afectados por el pastoreo libre del ganado, desviación del caudal y escasa protección vegetal en los taludes y el suelo.
- ◆ La evaluación de la retención de sedimentos en el ecosistema ripario confirmó que se lleva a cabo este servicio ambiental.
- ◆ Mediante las mediciones con estacas del proceso de sedimentación-erosión del suelo, se observó que la tendencia más notoria fue la mayor capacidad de acumulación de sedimentos de la parte riparia, en relación a la parte agrícola con cobertura de pastos y herbáceas, que en términos generales presentó rasgos de erosión.

- ◆ Una cobertura vegetal, bajas densidades aparentes del suelo, aunado a texturas en horizontes superficiales de arcillo-arenosos a franco arcillo-arenosos hicieron menos susceptible al suelo de la erosión y propiciaron que se retuviera sedimentos.
- ◆ Las siete especies identificadas como riparias y nativas a la región, pueden ser útiles en procesos de restauración ecológica de la zona, ya sea por su uso reportado en la literatura o por sus características que les permiten crecer en sitios con signos de disturbio, pero se debe considerar su uso según su distribución altitudinal y la calidad de los ecosistemas dónde fueron identificadas.
- ◆ Las características culturales que se consideraron en la selección de especies, para la propuesta de restauración posibilitaría la conservación de los recursos naturales mediante el uso.
- ◆ El empleo de especies riparias para la restauración de ecosistemas riparios, podría mitigar la carga de sedimentos que llegan a los cauces de corrientes, dada su comprobada tendencia a realizar esta función ambiental.
- ◆ La evaluación de la calidad de condiciones ambientales de los ecosistemas riparios permitirá determinar los sitios que necesitan acciones de restauración ecológica, con las especies vegetales que potencialmente puedan ayudar a mejorar las condiciones de estos.
- ◆ En términos generales el conocimiento de los ecosistemas riparios, en lo que respecta a sus características florísticas, servicios ecosistémicos y estado de calidad, son importantes para proyectos potenciales de restauración ecológica en áreas que presenten algún grado de degradación.

8. Recomendaciones

1. Reconvertir los sistemas tradicionales de agricultura a sistemas agroforestales, ampliando la línea riparia, lo que reduciría los procesos erosivos y mitigaría la contaminación difusa que está ligada al acarreo de los sedimentos (Lal, 1983; Ceccon, 2003). Por lo que los proyectos de restauración deben considerar el restablecimiento de la cobertura vegetal.
2. Utilizar prácticas de labranza que minimicen la remoción, alteración de la estructura y cambios en la distribución de los agregados naturales del suelo (Rivera *et al.*, 1998).
3. Se deben tomar medidas de protección y conservación de los ecosistemas riparios, así como de los servicios ecosistémicos que se derivan de ellos, que están ligados a la calidad del agua y al control de la contaminación difusa; una manera es a través de fajas vegetativas y cercas vivas.

4. Debe de implementarse el enfoque de manejo integral de cuencas en la planeación de territorios, como el de la reserva de la Mariposa Monarca, así como el manejo y la restauración de los ecosistemas riparios deben ser parte del manejo de cuencas. Aunado a lo anterior, las bases creadas en el presente trabajo, es decir, la evaluación visual rápida de las condiciones del ecosistema ripario, el uso de especies riparias que posibiliten el recuperar servicios ecosistémicos, como la retención de sedimentos serían útiles para desarrollar el manejo de cuencas (Cotler, 2007).

5. Revisión de la parte legal y ecológica en relación con el ancho que deben tener los ecosistemas riparios en México y en específico, aquellos de diferentes órdenes de corriente en la Reserva de la Mariposa Monarca, para que puedan brindar los servicios ecosistémicos descritas previamente. Al respecto en la Ley de Aguas Nacionales (2013), establece en el Artículo 3, párrafo XLVII, que las riberas o zona federal, son: “Las fajas de diez metros de anchura contiguas al cauce de las corrientes o al vaso de los depósitos de propiedad nacional, medidas horizontalmente a partir del nivel de aguas máximas ordinarias. La amplitud de la ribera o zona federal será de cinco metros en los cauces con una anchura no mayor de cinco metros”. En el mismo artículo tercero en su párrafo XI, establece que el “cauce de una corriente” deberá ser de cuando menos de 2.0 metros de ancho por 0.75 metros de profundidad”. Es decir, que la parte contigua a los cauces de corriente, como se ejemplifica en el siguiente esquema, debe tener de 5 a 10 metros de ancho, según sea el caso (Figura 34):



Figura 34. Dimensiones del cauce de corriente y la amplitud de la ribera, en base a la Ley de Aguas Nacionales (2013)

En la Ley General de Desarrollo Forestal Sostenible (2008), en su capítulo IV, artículo 126, habla que se tendrá que promover y aplicar programas e instrumentos económicos para fomentar las

labores de conservación y restauración de los recursos forestales y las cuencas hídricas. En el artículo 129 dice que podrá declarar áreas de protección para fines de restauración y conservación, a las riberas de los ríos, quebradas, arroyos permanentes, riberas de los lagos y embalses naturales.

Mientras que en otras legislaciones, como la de Honduras, se establece en el decreto 85 y artículo 64, que “se prohíbe en toda la República cortar, dañar, quemar o destruir los árboles, arbustos y en general los bosques, dentro de 250 m alrededor de cualquier nacimiento de agua, 150 m, a uno y otro lado de todo curso de agua permanente, laguna o lago, siempre que esté dentro del área de drenaje de la corriente (Peraza, 2009).

La implementación debe considerar, también las especies vegetales nativas y las condiciones sociales de cada región (Salinas y Ramírez, 2010). Granados y colaboradores (2006), considera que “el óptimo para una determinada corriente de agua podría determinarse por su amplitud, topografía, tipo de suelo, régimen hidrológico, clima y, con mayor importancia, por las metas de la política de manejo”.

Para futuros trabajos, en ríos de la zona de estudio sería conveniente determinar la manera de distribución lateral, ya que unas toleran más el aporte hídrico de los ríos y arroyos, que otras (U.S. EPA, 2011).

En términos generales el conocimiento de los ecosistemas riparios, en lo que respecta a sus características florísticas, servicios ecosistémicos, estado de calidad y aspectos legales, son importantes para estudios de restauración ecológica en áreas que presenten alguna degradación (Díaz *et al.*, 2010). Una manera de aproximarse y abordar la complejidad que esto representa, es mediante las evaluaciones que brinden un diagnóstico que considere las interacciones dinámicas entre sus componentes en el tiempo y el espacio. El entendimiento de la estructura y del funcionamiento del ecosistema ripario a lo largo de la cuenca, no sólo posibilitará la ejecución de acciones sino que también permitirá establecer la línea base a partir de la cual se construirán los indicadores. Además, hay que conciliar los intereses públicos, como es la preservación de ecosistemas y sus servicios ecosistémicos, con las necesidades e intereses de las poblaciones (Cotler y Caire, 2009).

9. Literatura citada

- Alianzas para las montañas. 2010. Cuencas hidrográficas. Disponible en: www.alianzamontañas.org. Consultado el 8 julio 2010.
- Alvarado, A. H. 2010. Caracterización estructural y florística de un bosque ribereño de la cuenca del río tocuyo (tocuyo occidental), Estado Lara, Venezuela. *Ernstia* [online] 20 (1): 1-20. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0252-82742010000100001&lng=es&nrm=iso. ISSN 0252-8274.
- Anderson, S. y R. Masters. 2003. Riparian Forest Buffers. OSU Extension Facts, Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma State University. <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-2227/NREM-5034web%20color.pdf>
- Anónimo. 2010. Parte I. Geomorfología fluvial. En: http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/t_geomorfologia.pdf (30-agosto-13).
- Baron, J. S., P. LeRoy, L. Angermeier, N. Dahm, H. Gleick, G. Hairston, B. Jackson, A. Johnston, D. Richter y D. Steinman. 2003. Sustaining Healthy Freshwater Ecosystems. En: *Issues in Ecology* 10: 1-16.
- Bernad, L. 2008. Franjas de vegetación riparia: usos y funciones. Ciclo Seminarios. Maestría en Manejo y Conservación de Recursos Naturales para la Agricultura.
- Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. 2009. Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana. En: <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=&id=7522>
- Bray, D. y Merino, L. 2004. La experiencia de las comunidades forestales en México. Instituto Nacional de Ecología-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 1995. Jaúl (*Alnus acuminata* ssp. *arguta*). Especie de árbol de uso múltiple en América Central. Colección de Guías Silviculturales 18. Serie Técnica. Informe Técnico 248. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 40 pp.
- Cardoza, R., L. Cuevas, J. García, J. Guerrero, J. González, H. Hernández, M. Lira, J. Nieves, D. Tejeda y C. Vázquez. 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales: manual de obras y prácticas. Comisión Nacional Forestal. México. 300pp.

- Ceccon, E. 2003. Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *Ciencias* 72: 46-53.
- Chapla, E. y B. Campos. 2011. Soil seed bank during succession at an abandoned pasture in the upper Paraná river-floodplain, Brazil. *Acta Scientiarum. Maringá* 33 (1): 59-69
- Clifton, C. 1989. Effects of vegetation and landuse on channel morphology. In:Greswell, R.E., B.B. Barton y J.L. Kershner eds. *Practical approaches to riparian resource management, an educational workshop*. May 8-11, Billings, Mont. 121- 29.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2001. Programa de manejo de la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca. México 1-138 pp.
- Cornejo-Tenorio, G., A. Casas, B. Farfán y G. Ibarra-Manríquez. 2003. Flora y vegetación de las zonas núcleo de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 073:43-62.
- Cornejo-Tenorio, G. y G. Ibarra-Manríquez. 2008. Flora ilustrada de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Costa, M. 1982. Pisos bioclimáticos y series de vegetación en el área Valenciana. *Cuad. de Geografía* 31: 129-142.
- Cotler, H. 2007. El manejo integral de cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. Segunda edición. Serie Planeación Territorial. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México.
- Cotler, H. A. y G. Caire. 2009. Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México. Sistema de publicaciones de Instituto Nacional de Ecología-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, 380 pp.
- Cotler, H., A. Garrido y C. Enríquez. 2006. Degradación de suelos. En: Atlas de la cuenca Lerma-Chapala construyendo una visión conjunta. Cotler, H.; Mazari-Hiriart, M., y de Anda, J. eds. Instituto Nacional de Ecología-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, UNAM e Instituto de Ecología. México: 12-14.
- Díaz, A., J.Rueda, O. Acosta, O. Martín y H. Castellanos. 2010. Composición florística del bosque ribereño del río San José, reserva forestal de Imataca, estado Bolívar, Venezuela. *Acta Bot. Venez.* 33 (1): 1-21.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. *Boletín de tierras y aguas de la FAO* 8.

Instituto Internacional de Agricultura Tropical, Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación. ISSN 1020-8127

- FAO. 2012. Soluciones para la compactación del suelo. Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible. http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sc/soil_compaction.pdf
- Fernández, R., C. Rodríguez, M. Arreguín y A. Rodríguez. 1998. Listado florístico de la Cuenca del Río Balsas, México. *Polibotánica* 9: 1-151.
- Francis, K. 1990. *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh. Fresno, tropical ash. SO-ITF-SM-28. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station: 4 p.
- Franklin, H., L. Cabrera, L. Byers, K. Matthews, G. Andrae, E. Radcliffe, A. McCann, A. Kuykendall, S. Hoveland y H Calvert. 2009. Impact of water troughs on cattle use of riparian zones in the Georgia Piedmont in the United States. *J. Anim. Sci.* 87: 2151-2159.
- Frissell, C., W. Liss, C. Warren y M. Hurley. 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. *Environmental Management* 10 (2): 199-214.
- García-Chevesich, P. A. 2010a. Factores que afectan la erosión y la sedimentación. En: *Procesos de erosión - sedimentación en cauces y cuencas Volumen 1, Capítulo 1*. José Daniel Brea y Francisco Balocchi eds. Documentos Técnicos del Programa Hidrológico Internacional-para América Latina y el Caribe, N° 22. 144 p.
- García-Chevesich, P. A. 2010b. Metodologías de medición de la erosión y sedimentación. En: *Procesos de erosión - sedimentación en cauces y cuencas Volumen 1, Capítulo 3*. José Daniel Brea y Francisco Balocchi eds. Documentos Técnicos del Programa Hidrológico Internacional-para América Latina y el Caribe, N° 22. 144 p.
- García, L. A. y F. Jiménez. 2006. Efectos del bosque ribereño y de las actividades antrópicas en las características físico-químicas y en poblaciones de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del río Tascalapa, Honduras. *Recursos Naturales y Ambiente* 48:35-46.
- Garrido, A. C. Guadarrama y H. Cotler. 2009. Priorización y recomendaciones de acciones de conservación en las subcuencas del sistema Cutzamala. Dirección de Manejo Integral de Cuencas, Instituto Nacional de Ecología. México: 19p.

- Gómez, C. R. 2003. Modelos conceptuales de funcionamiento de ríos y arroyos. 16 de Abril 2013. <http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/lectura-obligatoria-1/gomez-03.pdf>
- Gómez-Pompa, A., C. Vázquez-Yanes, S. Del Amo y A. Butanda. 1976. Investigaciones sobre la Regeneración de Selvas Altas en Veracruz, México. Vol I. A. Gómez-Pompa; C. Vázquez-Yanes; S. Del Amo; A. Butanda Eds. CECSA, CNEB, INIREB. México, D.F, México. 640 pp.
- González, T. R. y J. L. García. 2001. Restauración de ríos y riberas. Fundación Conde del Valle de Salazar y Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 319 p.
- González-Medrano, F. 2004. Caracterización ambiental de México y su correlación con la clasificación y la nomenclatura de las comunidades vegetales. En: Las comunidades vegetales de México. Instituto Nacional de Ecología-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2º edición. 88 p.
- Granados, D., M.A. Hernández y G.F. López. 2006. Ecología de las zonas ribereñas. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente 12 (1): 55-69.
- Greer, C. 1978. River management in modern China. Westview Press. Boulder, Colorado.
- Gregory, S., F. Swanson, A. McKee y K. Cummins. 1991. An Ecosystem perspective of riparian zones. *BioScience* 41(8): 540-551.
- Hamza, M. A. y W. K. Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research* 82: 121–145.
- Hession, W.C., J.E. Pizzuto, T.E. Johnson y R.J. Horwitz. 2003. Influence of bank vegetation on channel morphology in rural and urban watersheds. *Geology* 31: 147–150.
- Holl, K., M. Loik, E. Lin y I. Samuels. 2000. Tropical Restoration in Costa Rica: Overcoming barriers to dispersal and establishment. *Restoration Ecology* 8 (4): 339-349 p.
- Hudson, N.W. 1997. Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. Boletín de Suelos de la FAO 68. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma.
- Industrial Minera México. 2005. Datos generales del proyecto, del promovente y del responsable del estudio de Impacto Ambiental. Industrial Minera México, S.A. de C.V. Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Particular. Angangueo, Michoacán. Proyecto 04021.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2013. Glosario de la Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas. <http://www.ine.gob.mx/cuencas-conceptos> (26 de mayo 2013).

- INE. 2010. Restauración Ecológica. <http://www.ine.gob.mx/con-eco-ch/386-hc-restauracion#005> (3 de Diciembre de 2010).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1985. Síntesis geográfica del Estado de Michoacán, México. Secretaría de Programación y Presupuesto, México, D.F. 220 pp.
- INEGI, 1990. Geología de la República Mexicana. Aguascalientes, México. 80 pp.
- INEGI. 1997. Diccionario de datos de Uso del Suelo y Vegetación 1:250 000 (Vectorial). En: http://www.cp-idea.org/documentos/normasEspecificaciones/usue_250.pdf
- Iowa Department of Natural Resources (IDNR). 2006. How to control streambank erosion. Natural Resources Conservation Service, U.S. Department of Agriculture y U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Region 7, Kansas City, Kansas, under Section 319 of the Clean Water Act.
- Junk, J. W., P. B. Bayley y R. E. Sparks. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Can. J. Fish. Aquat. Sci. Spec. Publ.* 106: 110-127.
- Lal, R. 1983. Soil erosion in the humid tropics with particular reference to agricultural land development and soil management. *Hydrology of Humid Tropical Regions with Particular Reference to the Hydrological Effects of Agriculture and Forestry Practice (Proceedings of the Hamburg Symposium, August 1983)*. International Association of Hydrological Sciences Publ. no. 140.
- Ley de Aguas Nacionales (LAN). 1992. Diario Oficial de la Federación el 1º de diciembre de 1992. Reformada el 7 de junio del 2013.
- León, P. J. 2001. Estudio y control de la erosión hídrica. Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia: Medellín. 224 p.
- Ley General de Desarrollo Forestal Sostenible (LGDFS). 2003. Diario Oficial de la Federación. Reformada el 24 de noviembre de 2008.
- Lot, A. y F. Chiang. 1986. Manual de Herbario. Administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos. Consejo Nacional de la Flora de México, A.C.
- Lot, A., T. I. Llamas, P. Ramírez y V. J. Argüello. 2012. Asesoría: restauración de ecosistemas riparios en las subcuencas del sistema Cutzamala. Informe Final. Instituto de Biología, UNAM, México. 39 p.

- Mancilla, G., C. Valdovinos, M. Azocar, P. Jorquera y R. Figueroa. 2009. Efecto del reemplazo de la vegetación nativa de ribera sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en arroyos de climas templados, Chile central. *Hidrobiológica* 19 (3): 193-203.
- Mandujano, S., S. Gallina, G. Arceo y L. A. Pérez-Jiménez. 2004. Variación estacional del uso y preferencia de los tipos vegetacionales por el venado cola blanca en un bosque tropical de Jalisco. *Acta Zoológica Mexicana* 20(2): 45-67.
- Mant, J. y M. Janes. 2006. Restoration of rivers and floodplains. En: *Restoration Ecology*. Jelte Van Andel y James Aronson (Edit.). Blackwell Publishing, EU. 319 pp.
- Marín, C. y G. Desir. 2003. Comparación entre distintas técnicas para la determinación de la pérdida de suelo. *Bardenas reales (Navarra)*. *Edafología* 10 (3): 215-225.
- Martínez, A. M.A., O. V. Evangelista, C.M. Mendoza, G.G. Morales, O.G. Toledo y L.A. Wong. 2001. Catálogo de plantas útiles de la Sierra Norte de Puebla, México. Cuadernos 27, Instituto de Biología, UNAM, México. 305 p.
- Maass, M. 2003. El agua como elemento integrador de los procesos funcionales del ecosistema. En: *Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI*. Ávila, P. El Colegio de Michoacán. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México.
- Matisoff, G., E. Bonniwell y P. Whiting. 2002. Soil Erosion and Sediment Sources in an Ohio Watershed using Beryllium-7, Cesium-137, and Lead-210. *Journal of Environmental Quality* 31(1): 54-61
- McBride, M., C. Hession y D. M. Rizzo. 2008. Riparian reforestation and channel change: A case study of two small tributaries to Sleepers River, northeastern Vermont, USA. *Geomorphology* 102: 445-459.
- Merino, P. L. 2003. Los Bosques de México, reflexiones en torno a su manejo y conservación. *Ciencias* 72: 59-67.
- Mondragón, P. J. y H. Vibrans. 2009. Malezas de México. *Baccharis salicifolia* (24-feb-12). <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/baccharis-salicifolia/fichas/ficha.htm>
- Morales, C., F. Balocchi y R. Pizarro. 2010. Estimación de erosión por parcelas de clavos. En: *Procesos de erosión - sedimentación en cauces y cuencas* 1 (6). José Daniel Brea y Francisco Balocchi eds. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 22. 144 p.

- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Manuales y Tesis SEA, Zaragoza 1: 84 p.
- Morgan, R. 2005. Soil erosion and conservation. National Soil Resources Institute. Cranfield University. Blackwell Science Ltd. Oxford UK: 304 p.
- Munné, A., C. SOLÁ y N. PRAT. 1998. QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del Agua*, 175: 20-37.
- Munné, A. y N. Prat. 2013. La diagnosis y mejora de los ecosistemas fluviales mediante la Directiva Marco del Agua. En: Universidad de Murcia: <http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/lecturaobligatoria-1/munne-prat.pdf> (10 septiembre 2013).
- Naiman R.J., M.M. Holland, H. Décamps y P.G. Risser. 1988. A new UNESCO programme: research and management of land/inland water ecotone. *A New look at Ecotones*. Special Issue of *Biology International* 17:107-136
- Navarrete, P. N. J. 2011. Manejo forestal y diversidad arbórea: efectos del aprovechamiento forestal en la Reserva de la Mariposa Monarca, México. Tesis para obtener el grado de Doctor en Geografía, UNAM, México. 107 p.
- NOM-062-SEMARNAT-1994. Norma oficial mexicana que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos sobre la biodiversidad ocasionada por el cambio de uso del suelo de terrenos forestales a agropecuarios. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México
- Norris, E. 2001. Riparian restoration. Wetlands Program. Bill, Roberts (edit). VIMS Publication Center (Published), Technical Report 1-6: 1-8.
- Núñez, S. J. 2001. Manejo y conservación de suelo. Edit. Universidad Estatal a Distancia, 1^o Edición. San José, Costa Rica. 288 p.
- O'Keefe, T., E. Scott, R. Naiman y N. Douglas. 2010. Introduction to Watershed Ecology. U.S. Environmental Protection Agency. Watershed Academy Web. <http://www.epa.gov/watertrain> (2/05/2010).
- Ortega, M., F. Martínez y F. Padilla. 2003. Aspectos metodológicos para evaluar la calidad ambiental de los humedales. En: Paracuellos Mariano, Casas José. *Ecología, Manejo y Conservación de los Humedales*. Instituto de Estudios Almerienses. España: 125-137.

- Ortiz, G. S. 2009. Escenarios de la distribución de cadmio en agua y sedimento en la presa Arcediano. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, UNAM. México
- Pando, M., M. Gutiérrez-Gutiérrez, A. Maldonado, J. Palacio y E. Estrada. 2003. Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM 51: 23-36
- Peraza, M. M. S. 2009. Evaluación de la zona de recarga hídrica y bosques ribereños en la Subcuenca del Río Cumes, Jesús de Otor, Intibucá, Honduras. Proyecto especies para optar al título de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente en Licenciatura. 35 p.
- Pérez, G. E., J. Meave y C. Gallardo. 2001. Vegetación y flora de la región de Nizanda, Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. Acta Botánica Mexicana 56: 19-88
- Phipps, J. B. 1997. Monograph of Northern Mexican *Crataegus* (Rosaceae, Subfam. Maloideae). Barney L. Lipscomb. SIDA, Botanical Miscelany No. 15. Botanical Research Institute of Texas, Inc. En: <http://books.google.com.mx/books?id=kXbTWqqkYJsC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Plan de Desarrollo Municipal de Angangueo (PDMA). 2008. Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de Michoacán de Ocampo. 30 de Abril del 2008, 70° sección, tomo CXLIII, Núm. 77.
- Pinto, L.M.C. 2000. Los bosques de *Abies religiosa* (H.B.K.) Cham. y Schl. y sus etapas de sustitución en la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca: un enfoque fitosociológico. Tesis de Licenciatura para obtener el título de Biólogo. Facultad de ciencias, UNAM. México
- Porta, J., J. López-Acevedo y C. Roquero. 2003. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Ed. MundiPrensa. México
- Ramírez, L. J. 2010. Caracterización del ecosistema de ribera y su valor indicador del estado ecológico en la subcuenca Valle de Bravo-Amanalco, Estado de México. Tesis que para obtener el grado de Maestro en Ciencias del Mar y Limnología. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. México.
- Ramírez, R. y C. I. Salazar. 2007. Cambios de la resistencia a la penetración en un suelo con diferentes sistemas de manejo y su relación con algunas propiedades físicas en un andisol-

- Marinilla La Montaña. Universidad Nacional de Colombia. Recurso electrónico. Disponible en: http://www.unalmed.edu.co/~esgeocien/documentos/rramirez/cambios_de_la_resistencia_a_la_penetracion_en_un_suelo_con_diferentes_sistemas_de_manejo_y_su_relacion_con_algunas_propiedades_fisicas_en_un_andisol-marinilla_la_montanita.pdf
- Ramos, D. F., F. A. Quiroz, A. J. García y H. A. Lot. 2004. Manual de hidrobotánica. Muestreo y análisis de la vegetación acuática. AGT Editor, S. A. México, 158 p.
- Rzedowski, J. y G. Calderón de Rzedowski. 2005. Flora del bajío y de regiones adyacentes. Rosaceae. Fascículo 135
- Richmond P. y S. Rillo. 2006. Evaluación del efecto de la compactación por el rodado de maquinarias sobre algunas propiedades físicas del suelo y el cultivo de trigo en siembra directa. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 32: 22–25.
- Rivera, P., R. Lal, C. E. Amézquita, S. O. Mesa y C. B. Chaves. 1998. Movimiento del agua y procesos fundamentales en la erosión de cinco suelos de la zona cafetera central colombiana. *Cenicafé* 49(4): 308-324.
- Rojas, R. R. 2012. Anganguero, riqueza minera en disputa. *Diario: Cambio de Michoacán. Periodismo en evolución.* En: <http://www.cambiodemichoacan.com.mx/vernota.php?id=168533> (20 de agosto 2013).
- Romero, R. S., S. Aguilar y Z. E. Rojas. 2003. *Buddleja cordata* h.b.k. ssp. *Cordata* (Buddlejaceae): propagación y anatomía de la madera. *Polibotánica* 16: 63-78.
- Rosgen, D. 1996. *Applied River Morphology*. Pagosa Springs, Colorado: Wildlife Hydrology.
- Sabir, K. J. y R. Mahon. 2009. Selecting priority areas in the Scotland District for reforestation under the Sustainable Land Management Project of the NCC/OAS. CERMES Technical Report 25. Centre for Resource Management and Environmental Studies. University of the West Indies, Cave Hill Campus, Barbados; 44pp.
- Sánchez, Ó. 2007. Ecosistemas acuáticos: diversidad, procesos, problemática y conservación. En: *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Óscar Sánchez, Mónica Herzig, Eduardo Peters, Roberto Márquez y Luis Zambrano Eds. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto Nacional de Ecología; U. S. Fish and Wildlife Service; Unidos para la conservación A.C. y Universidad Michoacana de san Nicolás Hidalgo. México, 293 pp.

- Servicio de Sanidad Ambiental (SENAMBI). 2008. Riesgo químico-Accidentes graves. Cianuro de sodio. Región de Murcia, Consejería de Sanidad, Dirección General de Salud Pública. En: https://www.murciasalud.es/recursos/ficheros/137911-CIANURO_DE_SODIO.pdf (20 de agosto 2013).
- Sepúlveda-Lozada, A., V. Geissen, S. Ochoa-Gaona, A. Jarquín-Sánchez, S. Hernández de la Cruz, E. Capetillo y L. F. Zamora-Cornelio. 2009. Influencia de tres tipos de vegetación ribereña en el control de la erosión fluvial en Pantanos de Centla, México. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol.* 57 (4): 1153-1163.
- Sharitz, R. y S. Pennings. 2006. Development of wetland plant communities. En: *Ecology of freshwater and estuarine wetlands*. Darold O. Batzer y Rebecca R. Sharitz Eds. University of California Press. EU, 568 pp.
- Siebe, C., R. Jahn y K. Stahr. 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C., Chapingo, México.
- Siebe, C. y S. Cram. 2010. Degradación y Contaminación del Suelo. Asignatura del Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM. México
- Soil Science Society of America (SSSA). 1996. Glossary of soil science terms. Recurso electrónico. Disponible en: <https://www.soils.org/publications/soils-glossary/>
- Stocking, M. y N. Murnaghan. 2003. Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra. Editorial: Mundi-Prensa. 196 pp.
- Strahler, A. N. 1952. Dynamic basis of geomorphology. *Geological Society of American Bulletin* 63: 923-938.
- Sweeney, B. W., T. L. Bott, J. K. Jackson, L. A. Kaplan, J. D. Newbold, L. J. Standley, W. H. Cully y R. J. Horwitz. 2004. Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem services. *PNAS* 101 (39): 14132–14137.
- Thomas, R. y M. Meybeck. 1992. The use of particulate matter. In: *Assessment of the Quality of the Aquatic Environment Through Water, Biota and Sediment*. D. Chapman (ed), D. Chapman y Hall, London: 121-170.
- Treviño, G. E. J., C. C. Camacho y C. O. Aguirre. 2001. Distribución y estructura de los bosques de galería en dos ríos del centro sur de Nuevo León. *Maderas y Bosques* 7 (1): 13-25.
- Trimble, S. W. 1997. Stream channel erosion and change resulting from riparian forests. *Geology* 25(5): 467–469.

- U.S. EPA. 2011. Stream Corridor Structure. Adapted for the Internet from Stream Corridor Restoration: principles, processes and practices. The Federal Interagency Stream restoration Work Group. Watershed Academy Web. Distance learning modules in watershed management. In: <http://www.epa.gov/watertrain> (Julio de 2011).
- United States Department of Agriculture (USDA) y Natural Resources Conservation Service (NRCS). 1998. Stream visual assessment protocol. National Water and Climate Center Technical Note 99-1.
- Vannote, R.L., G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell y C.E. Cushing. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37:130-137.
- Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis-Muñoz, M. I. Alcocer-Silva, M. Gual-Díaz y C. Sánchez-Dirzo. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Instituto de Ecología, UNAM.
- Villarreal, Q. J., P. M. Carranza, C. E. Estrada y G. A. Rodríguez. 2006. Flora riparia de los ríos Sabinas y San Rodrigo, Coahuila, México. *Acta Botánica Mexicana* 75: 1.20.
- Whalley W. R., E. Dumitru y A. R. Dexter. 1995. Biological effects of soil compaction. *Soil y Tillage Research* 35: 53-68.
- Zaimes, G.N., R.C. Schultz y T.M. Isenhardt. 2004. Stream bank erosion adjacent to riparian forest buffers, row-cropped fields, and continuously-grazed pastures along Bear Creek in central Iowa. *Journal of Soil and Water Conservation* 59:19-27.
- Zambrano, L. 2003. La restauración de ríos y lagos. Universidad Nacional Autónoma de México. México. *Ciencias* 72: 37- 43.
- Zamora-Crescencio, P., M. R. Domínguez-Carrasco, P. Villegas, C. Gutiérrez-Báez, L. A. Manzanero-Acevedo, J. J. Ortega-Haas, S. Hernández-Mundo, E. C. Puc-Garrido y R. Puch-Chávez. 2011. Composición florística y estructura de la vegetación secundaria en el Norte del Estado de Campeche, México. *Boletín Sociedad Botánica de México* 89: 27-35.

Anexo I. Formato empleado en la: evaluación visual del ecosistema ripario

Sitio de evaluación no:							
Nombre del evaluador:		Nombre del dueño de la tierra:		Fecha:			
Nombre del arroyo:		Localización:					
Coordenadas:		Altitud:	Localidad:				
Uso de suelo (%):	Agricultura:		Forrajeo:		Pastos:		
Confinamiento animales:	Bosque:		Habitacional:		Otro:		
Condición actual del tiempo:			2-5 días pasados:				
Sustrato dominante del cauce:		Canto:		Gravilla:			
	Arena:	Limo:		Arcilla:			
Ancho del canal activo (m):			Altura del flujo base			Altura del cauce	
Pendiente en dirección del cauce		Pendiente del valle		Forma del valle		Dirección del cauce	
Diagrama del sitio							

Evaluación del Ecosistema ripario

Condición del canal:	<input type="text"/>	Estanques:	<input type="text"/>
Régimen hidrológico:	<input type="text"/>	Hábitats de invertebrados:	<input type="text"/>
Ancho de la zona riparia:	<input type="text"/>	Cobertura del dosel	<input type="text"/>
Estabilidad del talud:	<input type="text"/>	Presencia de estiércol:	<input type="text"/>
Apariencia del agua:	<input type="text"/>	Presencia de rápidos:	<input type="text"/>
Enriquecimiento de nutrientes:	<input type="text"/>	Vegetación riparia	<input type="text"/>

Calificación total:	0-2.9	Muy malo
	3.0-5.9	Deficiente
	6.0-7.9	Regular
	8.0-8.9	Bueno
	9.0-10.0	Excelente

Observaciones:

Indicadores para calificar los parámetros empleados para determinar la calidad de condiciones ambientales.

Condición del cauce

Cauces naturales, no estructuras, diques o represamientos. Sin evidencia de erosión o deslizamientos en taludes.	Evidencia pasada de alteración del cauce, pero con recuperación del cauce y de los bancos. Los diques o represamientos se construyen antes de las llanuras de inundación.	Cauce alterado en <50% del tramo evaluado con diques y/o canalización. Agradación en el cauce y los diques restringen el flujo natural del cauce.	Tramo del cauce evaluado con > 50% erosionado, canalizado. Los diques impiden el flujo natural del agua.
10	7	3	1

Régimen hidrológico

Crecidas naturales del cauce cada año o 2 años. No hay represamientos del agua, mediante estructuras como diques, que limiten el flujo natural del agua.	Crecidas naturales cada 3 o 5 años, pero no afecta a la biota que se desarrolla.	Crecidas del río sólo se producen 6 o cada 10 años, el canal muestra una incisión insipiente y los sedimentos no se transportan. La ausencia del flujo afecta a la biota.	No hay crecidas naturales del río, hay estructuras que impiden el acceso del flujo a lo largo del cauce. Los retiros del agua tienen afectaciones severas en la biota.
10	7	3	1

Vegetación riparia

Especies riparias nativas de la zona con índice de diversidad Shannon-Wiener (H') de 1.9 o más.	Especies riparias nativas de la zona con índice de diversidad Shannon-Wiener (H') de 1.6-1.5.	Especies riparias nativas de la zona con índice de diversidad Shannon-Wiener (H') de 1-0.9.	Especies riparias nativas de la zona con índice de diversidad Shannon-Wiener (H') de 0.6-0.5.	Especies riparias nativas de una zona con índice de diversidad Shannon-Wiener (H') menor a 0.2.
10	8	5	3	1

Ancho de la vegetación riparia

La vegetación nativa se extiende al menos dos canales activos de ancho a cada lado.	La vegetación nativa se extiende un canal activo de ancho a cada lado.	La vegetación nativa se extiende la mitad del ancho del canal activo a cada lado.	La vegetación nativa se extiende un tercio de ancho a cada lado y la función ambiental de infiltración del agua de escorrentía moderadamente comprometida.	La vegetación nativa cubre menos de un tercio del canal activo, a cada lado. Falta regeneración y la infiltración está gravemente comprometida.
10	8	5	3	1

Estabilidad del talud

Los taludes son estables y están cubiertas por raíces que se extienden por encima del flujo base y protege de la erosión.	Taludes moderadamente estables, menos del 33% de la superficie erosionable está protegida por las raíces que se extienden por encima de la línea base.	Moderadamente inestable. En las curvas hay erosión evidente, con algunos árboles y vegetación que se caen dentro del cauce por erosión.	Inestable los taludes, los bordes de las curvas erosionados activamente. Sin cubierta vegetal que proteja de desprendimientos.
10	7	3	1

Apariencia del agua

Muy clara o clara, como color del té. Objetos visibles a 1 o 2 m. No se	Después de lluvias se aprecia turbio, pero se aclara rápidamente.	Algo turbio la mayor parte del tramo, objetos se observan de 40 a 15 cm. objetos	Muy turbia y/o lodosa, objetos visibles a menos de 15 cm. Movimiento lento del agua y contaminantes flotantes, con algas
---	---	--	--

observan grasas ni películas que cubran elementos del lecho.	Objetos visibles a 50cm o 1 m y pueden tener recubrimientos verdes.	sumergidos con películas verde a verde oliva y olor moderado a amoníaco o huevos podridos.	flotando, espuma superficial y olor fuerte a químicos, aguas residuales y otros.
10	7	3	1

Enriquecimiento de nutrientes

Agua clara en todo el tramo evaluado. Se observan macroinvertebrados y pocos crecimientos algales.	Translúcida o ligeramente verde a lo largo del tramo, moderados crecimientos algales.	Agua verdosa en todo el tramo evaluado. Abundantes microfitas y crecimientos algales, especialmente en los meses más cálidos.	Agua verde, gris o café en todo el tramo evaluado. Crecimientos densos de macrófitas y crecimientos algales.
10	7	3	1

Estanques

Abundantes estanques o piscinas profundas y poco profundas y más del 30% del fondo de los estanques se observan oscuros.	Estanques presentes, pero no abundantes y medianamente profundas. De 3 a 8 estanques.	Estanques presentes, aunque escasos, en todo el tramo hay menos de 3. Poco profundos.	Estanques ausentes.
10	7	3	1

Hábitat de invertebrados

Al menos 5 tipos de hábitats disponibles para invertebrados, que permiten la colonización, como detritus y troncos o ramas caídos.	De 3 a 4 hábitats potenciales, algunos troncos caídos y posibles troncos que se pueden caer.	De 1 a 2 hábitats potenciales. El sustrato está perturbado, ya sea cubierto o removido por altas velocidades del flujo del agua o con muchos depósitos de sedimentos.	No hay hábitats potenciales.
10	7	3	1

Cobertura del dosel

> 75% de la superficie del agua se encuentra sombreada en relación al tramo evaluado.	> 50% de la superficie del agua sombreada o > 75% del tramo evaluado sombreado, pero en parches.	20 al 50% de la superficie del agua sombreada.	< 20% de la superficie del agua en el tramo evaluado está sombreado.
10	7	3	1

Presencia de estiércol

No hay.	Evidencia de acceso del ganado al ecosistema ripario.	Estiércol ocasional en el cauce o estructuras que almacenan residuos cerca del cauce.	Estiércol abundante a lo largo del tramo evaluado y desechos humanos sin tratar o tuberías que descargan en el cauce.
10	5	3	1

Presencia de rápidos

Presencia de rápidos a lo largo del tramo evaluado. De 10 en adelante, intercalado con los saltos y pozas.	Rápidos de 10 a 5 a lo largo del tramo evaluado.	Entre 5 y 3 rápidos o saltos a lo largo del cauce evaluado.	No hay presencia de rápidos
10	7	3	1

Anexo II. Ponderación que se realizó para calificar el parámetro *Vegetación riparia*, en la evaluación del estado de calidad del ecosistema ripario.

H'	Calificación
0-0.2	1
0.3-0.4	2
0.5-0.6	3
0.7-0.8	4
0.9-1.0	5
1.1-1.2	6
1.3-1.4	7
1.5-1.6	8
1.7-1.8	9
1.9-2.0	10

$$H' = -\sum p_i \log_2 p_i$$

Sitios	Riqueza específica (S)	Índice de Shannon-Wiener (H')	Calificación ponderada
1	1	0.00	1
2	3	0.85	5
3	4	1.31	7
4	5	1.41	7
5	4	1.14	6
6	5	1.44	7
7	8	1.83	9
8	7	1.98	10

Anexo III. Formato para la evaluación de retención de sedimentos.

Evaluación del ecosistema ripario en ríos de la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca				Fecha:	
Localización:					
Número de sitio:	Orden de corriente:	Evaluador:	Propietario de la tierra:	Ancho de la zona riparia	
Localidad:	Coordenadas:		Altitud:	Uso de suelo arriba de la vezt. riparia:	
Estado del tiempo:	2-5 días pasados	Clima:	Precipitación:		
Exposición (rumbo):	Pendiente:	Unidad de paisaje:			
Características del suelo					
Profundidad (cm)	Textura	Estructura	Color (húmedo)	Pedregosidad (%)	Densidad aparente
No. de anillos:					
Rasgos de erosión					
Esquema clavos:					
Instrucciones p/llegar					

	No. de parcela				
		Fechas muestras			
No. de Clavo	Vegetación				
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
Observaciones					

Anexo IV. Descripción técnica de cada una de las especies riparias.



Alnus acuminata Kunth 1817.

Árbol de 10 a 30 metros de altura.

Distribución: Casi todo México, principalmente en Chiapas, Chihuahua, Distrito Federal, Durango, Guerrero, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Sinaloa, S.L. Potosí, Sonora, Tlaxcala y Veracruz, a una altitud de 1300 a 2800 msnm.

Hábitat: Se desarrolla en bosques de galería, bosque tropical subperennifolio, bosque tropical caducifolio, bosque de encino, bosque de pino-encino y bosque mesófilo de montaña. Se puede encontrar en laderas montañosas muy inclinadas con condiciones secas. Prospera en los ríos y en pendientes húmedas. Su rango de temperatura va de 4 a 27 °C. Precipitación de 1000 a 3000 mm. Suelos limosos o limo-arenoso de origen aluvial o volcánico, profundo y bien drenado.

Importancia y usos: Es una especie secundaria, importante en los procesos de regeneración de los bosques, se desarrollan

bien en sitios perturbados y favorecen el establecimiento de otras especies, fijan nitrógeno atmosférico. Es usada para reforestaciones y en restauraciones. Se le usa como acolchado a su hojarasca, controla la erosión, protección de cuencas, debido a que estabiliza pendientes. Mejora la fertilidad del suelo ya que beneficia los cultivos que crecen junto a esta especie (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).



***Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh. (1907).**

Árbol de 15 a 20 metros de altura.

Distribución: Es originaria de México, principalmente en Sinaloa, Nayarit, Colima, Michoacán, Jalisco, Guanajuato, Hidalgo, México, Morelos, Oaxaca, Puebla, Durango, San Luis Potosí, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Chiapas, a una altitud de 1100 a 2600 msnm.

Hábitat: Crece en laderas de cerro, barrancas y cañadas, esporádicamente a orillas de corrientes de agua; le favorecen los climas templados. Se desarrolla en suelos arcillosos, arenosos, lava basáltica, ácidos o calcáreos, pero que sean profundos, fértiles, frescos y húmedos.

Es la única especie del género que se encuentra en estado silvestre formando parte del bosque de galería, bosque mixto de Pino-Encino y bosque mesófilo de montaña. Vegetación asociada. *Alnus sp.*, *Salix sp.*, *Quercus spp.*, *Cestrum sp.*

La precipitación anual promedio en su hábitat natural fluctúa entre 800 y 3000 mm (Francis, 1990; Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).

Importancia y usos: Restauración y protección, ya que presenta un efecto restaurador en la recuperación de terrenos degradados. Se ha empleado para rehabilitar sitios donde hubo explotación minera (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).

explotación minera (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).

***Oreopanax xalapensis* (Kunth) Decne y Planch.**

Árbol de 3 a 5 metros de altura.

Distribución: En México se le localiza en principalmente en Nayarit, Colima, Jalisco, Michoacán, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo,



Chiapas, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala, México y Veracruz, a una altitud de 2500 a 2700 msnm.

Hábitat: Crece en laderas de montañas y cerca de zonas con alta humedad como bosques de encino y mesófilo de montaña. También se le ha encontrado en zonas riparias y acahuales (Martínez *et al.*, 2001).

Importancia y usos: Se usa ocasionalmente como ornato. También se ha empleado como medicinal en “chincualo”, una enfermedad de recién nacidos que produce granos rojos cerca de la parte anal. Para tratarlo se usan los brotes tiernos junto con *Chenopodium ambrosioides* (epazote) en un cocimiento que se toma (Martínez *et al.*, 2001).



***Crataegus pubescens* (Kunth) Steud (1841).**

Árbol de 4 a 10 metros de altura.

Distribución: En México se le localiza principalmente en Chiapas, Distrito Federal, Guerrero, México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Sinaloa, Tlaxcala y Veracruz, a una altitud de 1200 a 3000 msnm.

Hábitat: Habita en laderas de cerros, barrancas y en las zonas de cultivo. Se le puede encontrar creciendo a lo largo de ríos intermitentes en Coahuila y zonas montañosas. Siendo en general discontinuo los hábitats donde se le puede encontrar (Phipps, 1997). Se establece en sitios perturbados, se ve favorecida por una elevada humedad y es tolerante a inundaciones periódicas y permanentes. Le favorecen los suelos ácidos y francos. Suelos: negro, arcilloso, pedregoso de origen sedimentario y volcánico.

Se le encuentra en bosques de pinos, bosques de encinos, bosques de pino-encino en los claros, bosque tropical subcaducifolio y bosque mesófilo de montaña.

Importancia y usos: se usa para conservación de suelo, como control de la erosión y en lugares con procesos de restauración (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).



***Salix bonplandiana* Kunth (1817).**

Árbol de 6 a 10 metros de altura.

Distribución: En México se le localiza principalmente en Baja California Sur, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas, a una altitud de 1200 a 2500 msnm.

Hábitat: Se le encuentra a orilla de canales, zanjas y arroyuelos, en ambientes riparios. Se desarrolla en climas templados, como en bosques de pino, de encino, de galería y bosque tropical caducifolio. Son árboles típicos del paisaje lacustre del sureste de la Ciudad de México. Le favorecen los suelos ácidos, húmedos, someros y pedregosos. Es una especie primaria y/o secundaria, ya que se comporta como especie pionera.

Importancia y usos: Especie con potencial para la restauración de zonas ribereñas erosionadas. Se ha plantado con fines de restauración en las delegaciones de Xochimilco y Tláhuac

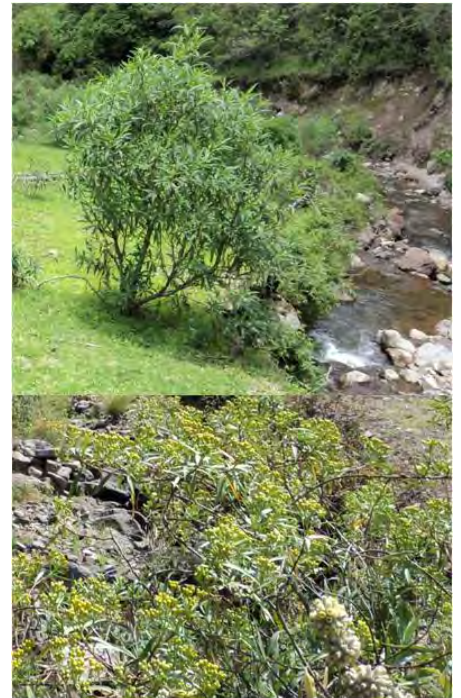
(Mixquic) del Distrito Federal y en Durango (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).

***Baccharis salicifolia* (Ruiz y Pavón) Pers.**

Arbusto de 1 a 2 metros de altura.

Distribución: Esta ampliamente distribuido en América, desde el suroeste de E.U.A., hasta Sudamérica. En México se le ubica principalmente en Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Estado de México y Distrito Federal, a una altitud de desde el nivel del mar hasta los 2800 msnm.

Hábitat: Se desarrolla en márgenes de arroyos y ríos, siendo estos



su hábitat principal, además de orillas de caminos, parcelas y bosques abiertos (Mondragón y Vibrans, 2009).



Rubus liebmanni Focke. Afín a *Rubus adenotrichos*.

Arbusto de 1 a 2 metros de altura.

Distribución: Especie distribuida desde el centro de México hasta Ecuador. En México se le encuentra principalmente en Hidalgo, Jalisco, Colima, Michoacán, México, Morelos, Puebla, Veracruz, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, a una altitud de 2100 a 2800 msnm.

Hábitat: Elemento frecuente y a menudo abundante en el norte de Michoacán, propio principalmente de la vegetación secundaria derivada de bosques húmedos de coníferas y de encino, así como del bosque mesófilo de montaña. También se encuentra asociada a márgenes ríos y caminos (Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 2005).