



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
*Facultad de Ciencias      Licenciatura en Biología*



## **Composición florística y estructura de la vegetación en dos cañadas de recarga hídrica en Malinalco, Estado de México.**

Autor:

**Oscar López Zamora**

Directores:

M. en C. Irma Victoria Rivas Manzano

Dr. Luis Isaac Aguilera Gómez

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Méx., Enero de 2015.

## Dedicatoria

*La inspiración viene del alma,*

*La materialización del trabajo,*

*La gloria de la realización de los sueños,*

*Y la grandeza de la capacidad de soñar infinitamente.*

O.I.Z.

*Dedico este trabajo a mis padres Orlando y Lorena,*

*Que son un orgullo y mi ejemplo de vida.*

## **Agradecimientos**

Agradezco infinitamente a mis padres Orlando López y Lorena Zamora, por su apoyo incondicional en todo momento y en especial para este proyecto, a mis hermanos Giovanni y Alan por compartir su alegría en este trabajo.

Quiero expresar mi agradecimiento a los directores de esta tesis de Malinalco, a la Ma. en C. Irma Victoria Rivas y el Dr. Luis Isaac Aguilera por su paciencia y generosidad en sus enseñanzas que han quedado impresas en estas páginas. A la M. en C. Isabel Martínez de la Cruz por la ayuda en la determinación de especies.

A los tremendos Charly Flores, Daniel Pichardo, Jesús Martínez y Lázaro Becerra, amigos incansables en las retas y en prácticas de campo, así como en clases.

En la realización de este trabajo participaron Daniel Pichardo, Charly Flores y Nataly K. López, sobre todo en la parte de ecología, gracias a su ayuda se elaboró parte fundamental de los muestreos en campo.

Agradezco infinitamente las ganas de aprender y el ímpetu de participación de Vanessa Romero Juárez que me apoyo en el último muestreo de vegetación en la Cañada San Miguel, ya que con su ayuda se concluyó una parte vital en este estudio.

Agradezco a Ana Karla P., Andrea C., Nataly L., Monserrat E. Julia M., Diana M., Yohary S., Treacy C., Lorena V., Valeria L., Verónica y Adalyth, Ivonee, Eileen Oviedo, Paloma, Daniel M., Samuel Villalba, Marisa F., Ana Laura D., Akari y Stephanía Monserrat que me brindaron su amistad y contribuyeron en mi formación personal y profesional.

Mil gracias a Jessica M. S. Jasso por sus enseñanzas y su amistad, ya que me encamino a trabajar con plantas.

Gracias a la Escuela del Agua A. C. que indirectamente me ayudo a tomar la decisión de estudiar Biología y además amablemente compartió resultados de Malinalco necesarios para concluir este trabajo.

Agradezco la ayuda en la identificación de ejemplares a los investigadores: Dr. Guillermo Ibarra, Dr. Manuel Ledesma, M. en C. Ma. del Rosario García Peña, M. en C. Blanca Verónica Juárez Jaimes, M. en C. Gilda Ortíz Calderón, M. en C. Ma. Angélica de la Paz Ramírez Roa, M. en C. Rafael Torres Colín.

## Índice

	Página
<b>Introducción.....</b>	<b>9</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>11</b>
○ Situación de los bosques.....	11
○ Ecología de cañadas.....	13
○ El papel de la vegetación en el ciclo hidrológico.....	16
○ La selva baja caducifolia.....	20
■ Composición florística de la selva baja caducifolia.....	22
■ Estructura de la selva baja caducifolia.....	24
■ Servicios ecosistémicos de la selva baja caducifolia.....	26
■ Estudios en ecosistemas similares y cercanos a Malinalco.....	27
<b>Objetivos.....</b>	<b>30</b>
<b>Materiales y métodos.....</b>	<b>31</b>
○ Zona de estudio.....	31
■ Municipio de Malinalco.....	31
■ Sitios de estudio.....	33
○ Métodos.....	35
<b>Resultados.....</b>	<b>40</b>
○ Composición florística.....	40
■ Clases taxonómicas de plantas identificadas.....	40
■ Familias taxonómicas.....	41
■ Estatus migratorio en México .....	42
■ Forma biológica.....	44
■ Floración.....	45
○ Fisonomía .....	46
■ Cañada San Juan.....	46
■ Cañada San Miguel.....	48
■ Perfiles de vegetación.....	49
○ Estructura de la vegetación.....	52
■ Análisis cuantitativo de la vegetación de la Cañada San Juan.....	52
■ Análisis cuantitativo de la vegetación de la Cañada San Miguel.....	57
■ Prueba de asociación.....	61
■ Cañada San Juan.....	61

▪ Cañada San Miguel.....	66
▪ Prueba de similitud de diversidad.....	70
○ Condición superficial del suelo.....	76
○ Zona de recarga hídrica.....	78
<b>Discusión.....</b>	<b>81</b>
○ Composición florística.....	81
○ Fisonomía .....	84
○ Estructura de la vegetación.....	85
▪ Análisis cuantitativo de la vegetación de la Cañada San Juan.....	85
▪ Análisis cuantitativo de la vegetación de la Cañada San Miguel.....	87
▪ Diversidad.....	88
▪ Prueba de asociación.....	91
▪ Prueba de similitud de diversidad.....	96
○ Condición superficial del suelo.....	97
○ Zona de recarga hídrica.....	99
<b>Conclusiones.....</b>	<b>101</b>
<b>Literatura.....</b>	<b>103</b>
<b>Apéndice.....</b>	<b>111</b>

## Índice de figuras

Figura	Página
1. Diagrama ombrotérmico del municipio de Malinalco, Estado de México. Los promedios de precipitación y temperatura por un período de 29 años (1981 a 2010). Con datos registrados en la Comisión Nacional del Agua.	32
2. Mapa de ubicación de las Cañadas San Juan y San Miguel, Malinalco, Estado de México	34
3. Porcentaje de cada Clase taxonómica que agrupa las especies presentes en la zona de estudio.	41
4. Familias con el mayor número de géneros y especies presentes en los sitios de estudio.	42
5. Especies agrupadas según su estatus migratorio en México.	43
6. Plantas agrupadas según la forma biológica, donde predominan las herbáceas.	44
7. Número de ejemplares recolectados con flores por mes en las Cañadas San Miguel y San Juan, Malinalco, México.	45
8. Gráfica de comparación de la temperatura y precipitación con el número de especies con flor por mes.	46
9. Perfil de la vegetación de la Cañada San Juan.	50
10. Perfil de la vegetación de la Cañada San Miguel.	51
11. Esquema de asociación por abundancia y frecuencia de árboles en la Cañada San Juan.	62
12. Esquema de asociación de arbustos presentes en la Cañada San Juan.	63
13. Esquema de asociación de las plantas herbáceas de la Cañada San Juan.	64

Figura	Página
14. Esquema de la abundancia y frecuencia en las trepadoras de la Cañada San Juan.	65
15. Esquema de asociación entre especies de árboles según su abundancia y frecuencia en la Cañada San Miguel.	66
16. Esquema de asociación del estrato arbustivo de la Cañada San Miguel.	67
17. Esquema de asociación de las herbáceas de la Cañada San Miguel, Malinalco.	68
18. Esquema de asociación de las trepadoras de la Cañada San Miguel, Malinalco.	70
19. Porcentaje de cobertura superficial en la Cañada San Juan.	76
20. Porcentaje de cobertura superficial en la Cañada San Miguel.	76
21. Porcentaje de cobertura superficial en la Cañada San Juan que incluye el porcentaje de los tipos de cobertura vegetal.	76
22. Porcentaje de cobertura superficial en la Cañada San Miguel que incluye el porcentaje de los tipos de cobertura vegetal.	76
23. Condición superficial de la ladera Sur de la Cañada San Juan, Malinalco.	77
24. Condición superficial de la ladera Norte de la Cañada San Juan, Malinalco.	77
25. Porcentaje de la cobertura superficial en la ladera Sur de la Cañada San Miguel.	77
26. Porcentaje de la cobertura superficial en la ladera Norte de la Cañada San Miguel.	77
27. Comparación de medias de la profundidad en centímetros de la hojarasca en las Cañadas San Miguel y San Juan.	78
28. Mapa de las áreas potenciales para la recarga hídrica en Malinalco, Estado de México.	80

## Índice de cuadros

Cuadro	Página
1. Lista de especies consideradas como endémicas a México.....	44
2. Densidad, frecuencia, cobertura y valor de importancia de los árboles de la Cañada San Juan.....	52
3. Valores de densidad, frecuencia, cobertura y valor de importancia de los arbustos de la Cañada San Juan.....	53
4. Valores de densidad, frecuencia, cobertura y valor de importancia para el estrato herbáceo de la Cañada San Juan.....	54
5. Valores de densidad, frecuencia, cobertura y valor de importancia de las trepadoras en la Cañada San Juan.....	56
6. Valores de densidad, frecuencia, cobertura y valor de importancia para el estrato arbóreo de la Cañada San Miguel.....	57
7. Valores de densidad, frecuencia, cobertura y valor de importancia para el estrato arbustivo de la Cañada San Miguel.....	58
8. Valores de densidad, frecuencia, cobertura y valor de importancia para el estrato herbáceo de la Cañada San Miguel.....	59
9. Trepadoras herbáceas presentes en la Cañada San Miguel.....	61
10.Comparación de especies para pruebas de similitud de comunidades en el estrato arbóreo.....	71
11.Lista de abundancias de los arbustos presentes en las Cañadas San Juan y San Miguel.....	72
12.Lista de especies herbáceas y sus abundancias en las Cañadas San Juan y San Miguel.....	73
13.Abandancias de las especies de trepadoras presentes en las cañadas San Juan y San Miguel, Malinalco.....	75

## INTRODUCCIÓN

México es un país con una gran variedad de ecosistemas, las especies presentes en su territorio se estiman entre el 8 y 12% del total mundial (Toledo y Eccardi 1989, Mittermeier y Mittermeier 1992), algunas familias presentan su máxima diversidad en el país y existe un porcentaje elevado de especies endémicas (Villaseñor 2003, Sarukhán et al. 2009), por lo que en el contexto internacional se le considera uno de los países megadiversos junto con Brasil, Colombia, República Democrática del Congo, Madagascar, Indonesia y Australia (Mittermeier y Mittermeier 1992). El conocimiento de la diversidad de un país con tal riqueza de paisajes constituye una ardua tarea, máxime si se intenta comprender de manera global la interacción entre los distintos factores que contribuyen a la estabilidad de dichos sistemas.

El manejo, aprovechamiento y conservación de los recursos naturales de un país dependen del conocimiento local y regional de la composición, estructura y funcionamiento de los sistemas naturales; para México esta información dista mucho de ser completa (Trejo 2005), por lo que la generación de datos básicos se vuelve fundamental para sustentar propuestas de manejo que garanticen el mantenimiento de la diversidad, el abastecimiento de recursos básicos y la conservación de ecosistemas.

En el campo de la conservación, la descripción y el análisis de la diversidad biológica en comunidades vegetales son la base para medir la heterogeneidad ambiental y la riqueza biológica, para localizar unidades de interés particular que salvaguarden las especies contenidas en ellas, además de detectar cambios en la vegetación, que pueden ser medidos y monitoreados a través de la descripción y análisis de la fisonomía, composición y estructura de la vegetación (Colinvaux 1980).

Una de las formas para comprender el funcionamiento de las comunidades vegetales es a través de estudios ecológicos, donde se puede determinar la

importancia de las diversas poblaciones dentro de una comunidad, y así encontrar las especies que regulan el sistema, significando con ello que dichas especies son las que ejercen mayor dominio sobre la comunidad (Granados y Tapia 1990).

La selva baja caducifolia (Miranda y Hernández 1963) o bosque tropical caducifolio (Rzedowski 1978) es uno de los ecosistemas menos estudiados en México, probablemente porque se establece en zonas con topografía accidentada y acceso restringido. Desde el punto de vista de la explotación forestal, este tipo de vegetación es de escasa importancia, pues el tamaño y la forma de sus árboles no presentan características deseables para el comercio (Rzedowski 1998, Trejo 2005). Sin embargo, entender los procesos ecológicos que ocurren en este tipo de ecosistemas, como el recubrimiento y retención de suelos, la diversidad biológica que albergan, la recarga de acuíferos y el mejoramiento de la calidad de agua, entre otros, se vuelven relevantes para conformar mejores estrategias de conservación y aprovechamiento de estos servicios ecosistémicos.

Este estudio muestra la composición florística y la estructura de la selva baja caducifolia en cañadas como zonas potenciales para la recarga hídrica e inferir su relación con el estado de la vegetación, en Malinalco, Estado de México. Se considera a este trabajo como el primero de esta índole en el municipio que permite establecer antecedentes de la diversidad vegetal, por lo tanto sienta bases para la conservación y aprovechamiento de los servicios ecosistémicos.

## **ANTECEDENTES**

### **Situación de los bosques**

Los grandes cambios climatológicos, como las glaciaciones han modificado la distribución y el tamaño de las masas vegetales; de hecho se calcula que la última era de hielo finalizó hace unos 10 000 años y dejó casi 6 mil millones de hectáreas de cobertura vegetal, lo cual equivalía al 45% de la superficie terrestre (Ville et al. 1992, FAO 2012). Actualmente se estima que selvas y bosques cubren unos 4 000 millones de hectáreas, es decir, aproximadamente el 31% del área de las superficie terrestre. Las variaciones de los ciclos climáticos continúan influyendo en los cambios de los ecosistemas del planeta, sin embargo es la actividad humana la que ha tenido un efecto progresivamente mayor (FAO 2012).

El crecimiento demográfico y el auge en la demanda de recursos (alimentos, fibras, combustible, entre otros) para la humanidad, ha incidido en la desaparición de bosques y selvas, ya que en las últimas décadas la deforestación se aceleró; tan sólo en los años '90 del siglo XX se perdieron casi 15 millones de hectáreas de bosques primarios, principalmente en los trópicos (Ville et al. 1992, Franquis e Infante 2003, FAO 2012), y en los últimos 10 años el promedio anual neto de desaparición de bosques en el mundo llegó a los 5,2 millones de hectáreas. América Latina registró una pérdida neta de 88 millones de hectáreas (equivalente al 9% de la superficie forestal total) de bosques en los últimos 20 años (FAO 2012). En algunos países ricos en bosques y selvas como Madagascar, Brasil, México y Guinea, entre otros, se ha perdido entre el 80 y 97% de los bosques primarios (Mittermeier y Mittermeier 1992).

La desaparición de bosques y selvas no se limita a la pérdida de masas vegetales, sino que se comprometen los servicios ambientales que brindan, como son la estabilización del clima, el almacenamiento de carbono, la producción de aire limpio, la protección de cuencas hidrológicas, la producción de oxígeno, incluso su utilización como zonas para el uso recreacional del hombre y su

contribución a la conformación de paisajes y, lo más importante, como reservorios de biodiversidad (Challenger 1998, Franquis e Infante 2003, FAO 2012). La pérdida de diversidad biológica es probablemente, el problema ambiental que sobrepasa en importancia a la situación de otros recursos o servicios, ya que la extinción de especies, ecosistemas y procesos ecológicos es irreversible, incluso pone en riesgo la supervivencia del hombre (Mittermeier y Mittermeier 1992).

Según la FAO (2012) los ecosistemas de bosques y selvas, albergan más del 80% de la biodiversidad terrestre, además son un recurso importante en el desarrollo de nuevos medicamentos, variedades vegetales mejoradas e innumerables productos adicionales. La atención sobre la conservación de la biodiversidad a nivel mundial se enfoca principalmente en las regiones tropicales de la Tierra, donde se alberga aproximadamente el 80% de las especies del planeta, ya que son estos los ecosistemas con el mayor y más inmediato peligro de desaparecer. Se calcula que se han perdido dos tercios del bosque tropical primario del planeta, y con ello se estima que entre 1990 y 2020 se extinguirá del 5 al 15% de las especies en el mundo (Franquis e Infante 2003). Estas proyecciones se hacen más evidentes en los países considerados como megadiversos, entre ellos México, catalogados así por su gran heterogeneidad geográfica y alta diversidad biológica (Mittermeier y Mittermeier 1992, Franquis e Infante 2003).

La flora y fauna mexicana muestran patrones geográficos correlacionados con el comportamiento del medio físico y su historia geológica, que se refleja en la diversidad de ecosistemas. La riqueza de México es el resultado de la evolución fisiográfica y la diversidad natural, que ha generado una extensa variabilidad genética de muchos grupos taxonómicos y un alto número de endemismos (Sarukhán et al. 2009). En el país confluyen dos de las principales regiones biogeográficas del planeta, la neártica y la neotropical, que aportan elementos faunísticos y florísticos del norte y sur de América, por lo que estas áreas de contacto son de interés para la conservación de la biodiversidad; al igual la totalidad del territorio nacional, por su gran complejidad fisiográfica y por su

intrincada historia geológica y climática (Mittermeier y Mittermeier 1992, Sarukhán et al. 2009).

## **Ecología de cañadas**

La topografía heterogénea es generadora de ambientes con características particulares, donde se establecen distintas comunidades vegetales que reflejan las diferentes condiciones en cimas de montañas, en laderas y en cañadas (Begon et al. 1999). Éstas últimas también son llamadas cuencas hidrográficas o barrancas, formadas por las estribaciones de cadenas montañosas, mesetas, llanuras interiores y costeras. Son un sistema abierto que forma parte de un sistema de mayor tamaño, que para fines de administración puede considerarse como un tipo de ecosistema mínimo o unidad de paisaje (Odum y Barret 2006), con factores ambientales y climáticos importantes como la temperatura y la humedad, que influyen en la determinación de la distribución de diversas especies (Begon et al. 1999).

Las elevaciones topográficas, como las montañas y cadenas montañosas promueven las precipitaciones por sombra orográfica (Ville et al. 1992), y las cañadas al tener una forma cóncava son el sistema de drenaje de las aguas de escorrentía que se reúnen en el centro en forma de riachuelos, arroyos y ríos (Ville et al. 1992). Además permiten la concentración de la precipitación en las zonas más profundas, haciendo que funcionen como zonas de captación hídrica para la recarga de cuerpos de agua superficiales (lagos y ríos), ríos subterráneos, mantos freáticos y acuíferos. Cada sitio de captación puede variar en extensión, profundidad y estructura geológica (Odum y Barret 2006).

En las cañadas, los recursos se encuentran distribuidos de manera heterogénea, por las variaciones de altitud, longitud, inclinación de la pendiente y exposición. El diferente presupuesto hídrico esta relacionando con el gradiente

altitudinal dentro de la barranca, ya que la pendiente influye en la velocidad de escurrimiento de las precipitaciones y se promueven procesos como el de erosión-transporte-redistribución de materiales (nutrientes) en el sustrato (Odum y Barret 2006).

En las cuencas hidrográficas el crecimiento vegetal está condicionado por la influencia de factores ambientales como la incidencia solar, la precipitación y la temperatura. La distribución de la humedad dentro de las cañadas ejerce efectos directos sobre la tasa de crecimiento vegetal que es limitado por la tolerancia a restricciones hídricas y disponibilidad de nutrientes, incluso por la actividad de otras plantas y de animales que se alimentan de ellas (Colinvaux 1980, Begon et al. 1999).

En las cañadas se puede almacenar agua en el subsuelo, el suelo, el mantillo y en las plantas antes que llegue al suelo mineral, en cantidades variables a lo largo del año y de un año a otro (Daubenmire 1999). El proceso de captación de agua en sistemas naturales por infiltración, ocurre con mayor frecuencia en el fondo de las cuencas, donde los suelos son más profundos y la vegetación es más densa, lo que permite una alta tasa fotosintética y mayor densidad en la cobertura vegetal (Synder 1996, Mullaney 2004, Spellman y Drinan 2004, Lin 2007, Matus et al. 2009).

Dentro de una misma cañada los manchones de vegetación pueden disponer de presupuestos hídricos muy diferentes en virtud del relieve (inclinación y orientación de la pendiente) y el tipo del suelo. Así como de los factores que determinan la cantidad de radiación solar como la profundidad, la humedad del suelo y la evapotranspiración potencial. Estos factores influyen en la densidad local de la vegetación, en su crecimiento y en la composición de especies (Galicia et al. 1999, Terradas 2001).

El diferente presupuesto hídrico en las cañadas conduce al desarrollo de la vegetación con distintas características según la zona donde se encuentra, por

ejemplo en las laderas altas donde el suelo es somero y los escurrimientos suceden con mayor velocidad, el bosque es más abierto e intercepta menos luz, por lo que se producen pérdidas de energía solar, ya que gran parte incide sobre suelo desnudo, lo que causa una disminución en la tasa fotosintética de las plantas sometidas a la sequía y se produce un aumento en la evaporación de humedad directa de la superficie edáfica (Begon et al. 1999).

La vegetación y la topografía heterogénea generan condiciones muy específicas, por ejemplo, la sombra proyectada por el dosel o las laderas altas disminuye la incidencia solar en el sotobosque, de modo que en algunos ambientes como las selvas húmedas tropicales, ésta reducción llega a ser de hasta de un 90%, y como consecuencia también la temperatura se afecta al bajar hasta 4°C en el suelo, esto contribuye a la reducción de la evaporación. A su vez la presencia de vegetación sirve como reductor de la velocidad del viento hasta una cuarta parte, lo cual mantiene más húmedo el ambiente bajo la cubierta vegetal y disminuye la erosión edáfica (Rosito-Monzon 2010, González-Carrasco 2011).

Una vez que el agua alcanza el suelo puede infiltrarse, o bien resbalar hasta los sistemas de avenamiento, en cuyo caso no puede ser utilizada por la vegetación que en principio la recibe. Si la superficie es inclinada, la escorrentía aumenta, de modo que las laderas pierden una parte sustancial del agua de lluvia. Si percola hasta zonas fuera del alcance de las raíces, tampoco podrá ser empleada y circulará como agua subterránea hasta aflorar en un sistema superficial de avenamiento o llegar directamente al mar. La humedad que llega al fondo de las cañadas puede llegar al suelo en proporción muy grande tanto por advección lateral como por escorrentía desde las laderas (Daubenmire 1999, Terradas 2001), y dependiendo de la profundidad del suelo puede saturarse o bien continuar corriendo superficialmente (Terradas 2001).

## **El papel de la vegetación en la recarga hídrica**

La disponibilidad de agua en un ecosistema resulta de la relación entre entradas y salidas de humedad, conocida como balance hídrico. Las salidas tienen lugar en la evaporación directa de la superficie del suelo y de plantas humedecidas por la lluvia, por evapotranspiración a lo largo del continuo suelo-planta-aire; por escorrentía superficial o bien por penetración a capas subterráneas profundas. Las entradas se producen: por precipitación, por advección lateral (en forma de nieblas que se condensan sobre hojas y ramas) que llega a la superficie edáfica; en muy pequeña cantidad, por absorción de vapor de agua a través de la epidermis (Terradas 2001). Y por infiltración al subsuelo en profundidades donde puede ser aprovechada por las plantas.

Una de las entradas de agua más importantes es la recarga hídrica de mantos freáticos que depende de múltiples factores, como la precipitación, el material parental, el uso y tipo de suelo, la extensión del área de captación, la pendiente y la forma del terreno, que influyen en los escurrimientos y en la retención de humedad en diferentes niveles (Kresic 2009, Matus et al. 2009, González-Carrasco 2011, Herrera-Ibáñez y Brown-Manríquez 2011). Los sitios donde existe mayor efectividad de la infiltración corresponden a las cañadas, por su forma cóncava en combinación con factores como la orientación y la profundidad que tienen efecto en la intercepción y disminución de la radiación solar directa provocando un aumento en la retención de humedad en el suelo (Galicia et al. 1999).

La recarga en un ecosistema es el resultado de la combinación de características topográficas y condiciones ambientales con la presencia de vegetación que tiene efectos positivos en la infiltración. Las plantas parecen ser la variable más importante en la infiltración ya que pueden conducirla a diferentes niveles de profundidad en el suelo (Terradas 2001). En áreas de captación con pendientes fuertes como el interior de las cuencas hidrográficas, la vegetación disminuye la velocidad de escorrentía, propiciando una menor erosión edáfica al

mantener la humedad en el suelo y crear reservas de agua subterránea que son aprovechadas para mantener el ecosistema aún durante los meses sin lluvia (González 2011).

La estructura de la vegetación juega un papel primordial en la captación de agua, ya que cuando esta es compleja aporta al suelo un alto recubrimiento (Terradas 2001), lo cual provoca que la humedad en el ambiente tome varias rutas, y una de ellas es cuando parte de la precipitación es interceptada por la cobertura vegetal y retorna a la atmósfera por evaporación, otra parte continúa bajando por escorrentimiento a través de hojas y tallos a la superficie del terreno, donde comienza a correr horizontalmente en el suelo formando ríos y arroyos, mientras que otra parte se mueve de manera vertical (infiltración) para formar reservorios de agua subterránea (Maass 2003, Toledo 2006, FAO 2009, Matus et al. 2009, González 2011).

La cobertura de la superficie edáfica está compuesta por el dosel, el sotobosque (arbustos y herbáceas) y los restos vegetales, tales elementos evitan el impacto directo de las gotas de lluvia, sobre todo durante las lluvias más intensas (Terradas 2001), ya que la velocidad o intensidad con la que caen tiene influencia en la composición y estructura del suelo. Una lluvia con alta energía cinética puede provocar la rotura de los agregados superficiales formando encostramiento, que promueve el aumento de la escorrentía y erosión del suelo, mientras que disminuye la tasa de infiltración de agua útil a la zona de raíces y la recarga natural de acuíferos; también se afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas (FAO 2000, Scanlon *et al.* 2002, Maass 2003, Mullaney 2004, Artieda 2008).

La cobertura superficial del suelo (hojas, ramas, semillas, frutos, etc.) constituye la última capa de protección que tiene el terreno contra el impacto directo de las gotas de lluvia, además es la fuente de alimento y nutrientes para organismos y microorganismos que la consumen y desintegran en partículas más pequeñas que se reintegran al suelo, dicho ciclo mantiene la estabilidad y

estructura edáfica (Maass 2003, Artieda 2008, FAO 2009). La cobertura superficial del suelo también influye en la calidad del agua infiltrada, ya que atrapa sedimentos y contaminantes (FAO 2009).

El balance hídrico anual de un sistema vegetal oscila de acuerdo con la composición y estructura de la vegetación. En un bosque templado la intercepción puede variar entre el 10 y el 35% del total de la precipitación, en los bosques tropicales, puede ser mucho mayor, hasta del 70%, mientras que en otros tipos de vegetación con estructura menos compleja, como matorrales o pastizales la intercepción es mucho menor, lo que significa que reciben menos agua útil (Terradas 2001). En los bosques tropicales caducifolios la precipitación que llega al suelo traspasando el dosel (translocación) es de entre el 15 y el 40%; el resto (entre el 1% y el 15%) resbala por los troncos (escorrentía cortical) (Cervantes-Servín 1988).

La mayor parte de la lluvia llega al suelo traspasando el dosel y el resto resbalando por los troncos (Terradas 2001). En México, poco más del 70% de la precipitación regresa a la atmósfera por evapotranspiración, por lo que el 30% restante escurre como agua superficial o se infiltra recargando los acuíferos, es decir, que si en promedio llueven  $1,515 \text{ km}^3/\text{año}$ , a la atmósfera regresan cerca de  $1,091 \text{ km}^3/\text{año}$ ; y escurren cerca de  $396 \text{ km}^3/\text{año}$  como agua superficial; se estima que la recarga media de los acuíferos es del orden de  $77 \text{ km}^3/\text{año}$ ; en otras palabras, del agua que llueve en México solamente el 5% reabastece a los acuíferos (CONAGUA 2012).

La frecuencia y temporalidad de las lluvias también influyen en la recarga de ríos, lagos y acuíferos, así como en importantes procesos del ecosistema. En climas marcadamente estacionales, donde las lluvias se concentran en unos cuantos meses al año, se limita el desarrollo de las comunidades vegetales durante los meses de sequía (Maass 2003), sobre todo en zonas donde la distribución es poco equitativa. En México la temporada de lluvias se concentra de julio a septiembre, con una precipitación en promedio de 760 mm anuales, sin

embargo esta no cae de manera homogénea a lo largo del país, ya que en algunas zonas del territorio nacional como Baja California apenas se registran 161 mm/año, mientras que en Tabasco la precipitación es de 2,102 mm/año (CONAGUA 2012).

En México existen ecosistemas adaptados a períodos de precipitación cortos, como la selva baja caducifolia, y se distinguen por características florísticas y estructurales particulares afines a sistemas tropicales con fenología estacional (Trejo 2005), es decir más del 95% de las especies presentes pierden el follaje en la época seca (Maass 2003).

En las regiones con selva baja caducifolia, los patrones de precipitación tienden a ser aleatorios y erráticos, a menudo con tormentas de corta duración y gran intensidad, que equivalen en promedio al 5.1% de la lluvia anual (Maass et al. 1988), en estos ecosistemas el dosel intercepta aproximadamente 30% de la lluvia anual; de ese porcentaje el 5.2% llega hasta el suelo en forma de escurrimiento superficial sobre los tallos (escurrimiento caudal), tanto este aporte como el flujo del agua a través del suelo, contribuyen al presupuesto hídrico del ecosistema (Cervantes et al. 1988).

En la recarga hídrica, el carácter netamente caducifolio de la selva baja sirve de protección para el suelo contra las primeras lluvias de la siguiente temporada (Challenger 1998), así como de los vientos fuertes, disminuyendo la erosión de la superficie edáfica y la evaporación del agua contenida en la zona no saturada, además permite el retorno anual de la energía y nutrientes, y funciona como filtro para el agua que percola de manera vertical hacia mantos freáticos, mejorando su calidad.

En las selvas caducifolias la estacionalidad climática y los gradientes ambientales han modelado la historia de vida de diferentes grupos de plantas y animales, que contribuyen al recambio espacial de especies en diferentes grupos funcionales, que modifican la estructura de los ecosistemas en México (Trejo y

Dirzo 2002), y que han sido afectados por la compactación y erosión del suelo, situación que aumenta con la intervención del hombre para la implementación de actividades agrícolas, industriales, extracción de leña, construcción de viviendas y actividades pecuarias (González-Carrasco 2011, Calderón et al. 2012).

### **La selva baja caducifolia en México**

Es probable que las selvas secas sean los ecosistemas más representativos de México debido a sus afinidades florísticas y a su cobertura potencial. No obstante, son también los menos estudiados. A pesar de ello, se sabe que albergan una biodiversidad sorprendentemente grande y que varias civilizaciones prehispánicas importantes surgieron en esta zona ecológica. También se sabe que los parientes silvestres de diversas plantas agrícolas importantes se encuentran preferentemente en estos ecosistemas y que representan una fuente potencial de germoplasma para la mejora de cultivos como el maíz, la calabaza y el frijol, entre otros (Challenger 1998).

La distribución de este tipo de vegetación a lo largo del país varía en un gradiente altitudinal que va de los 0 hasta 1900 m (Trejo y Dirzo 2000). La distribución espacial de este bosque tropical está influenciada por una matriz heterogénea de topografía, clima y condiciones edáficas, que invariablemente tiene efecto sobre la composición y estructura (Rzedowski 1978, Trejo y Dirzo 2000).

La selva seca del occidente de México se extendía en una franja casi continua en la vertiente pacífica desde el norte de Sonora y Chihuahua hasta Oaxaca, y tierra adentro en la cuenca del Balsas, el Valle de Tehuacán-Cuicatlán y la Depresión Central de Chiapas (Rzedowski 1978, Trejo y Dirzo 2000, Lott y Atkinson 2010). En la vertiente del Atlántico existen regiones de superficie reducida con selva seca, que se localizan en partes de Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro y Veracruz (Rzedowski 1978).

En la zona ecológica tropical subhúmeda de México predomina (Challenger 1998) la selva baja caducifolia (*sensu* Miranda y Hernández 1963) o bosque tropical caducifolio (*sensu* Rzedowski 1978) que se desarrolla en zonas con climas predominantemente cálido y semicálido, con una temperatura media anual superior a 20°C, y en áreas con alta heterogeneidad fisiográfica (Miranda y Hernández 1963, Rzedowski 1978, Trejo 2005). La selva baja caducifolia muestra una franca preferencia por suelos someros pedregosos con buen drenaje y se localiza a menudo sobre laderas de cerros con frecuentes afloramientos de roca (Miranda y Hernández 1963, Rzedowski 1978, Trejo 2005). Se calcula que para los años '70 este tipo de vegetación cubría cerca del 14% del territorio mexicano (alrededor de 270 000 km<sup>2</sup>), actualmente se estima que existe un 8% del área original (Rzedowski 1978). La disminución del área ocupada por este ecosistema se hace más evidente por la creciente demanda de alimentos, y debido a que se presenta en zonas con pendientes fuertes y suelos poco profundos, ha sido utilizada preferentemente para actividades ganaderas extensivas donde se les permite a los animales ramonear libremente (Rzedowski 1978).

Las selvas bajas caducifolias se caracterizan por su fenología marcadamente estacional, que da como resultado un aspecto diferente de acuerdo con la época del año. En estas selvas la precipitación pluvial se concentra durante una breve temporada de lluvias, seguida por una temporada de sequía de entre cinco y ocho meses (noviembre a junio) y durante la cual la mayoría de las plantas pierden sus hojas (Rzedowski 1978).

Durante la temporada de lluvias la selva reverdece con una densa producción foliar, mientras que en las primeras semanas de la temporada seca, los elementos vegetales empiezan a dejar caer sus hojas, a ritmos diferentes de acuerdo con la especie y con las condiciones del micro hábitat. Hacia finales de la época seca muy pocas especies, sobre todo arbóreas, conservan su follaje, generando un aspecto grisáceo y melancólico, sólo interrumpido por las pocas especies siempre verdes (Rzedowski 1978, Challenger 1998, Borchert et al. 2004). El porcentaje de plantas que pierde su follaje durante la época de secas varía

dependiendo de la zona, por ejemplo en Jalisco se calcula que hasta un 95% del dosel pierde el follaje, mientras que en zonas como Yucatán la proporción de especies que presentan una condición caducifolia oscila entre el 25 y el 75% (Borchert et al. 2004).

En las selvas bajas caducifolias la floración aumenta después de la época de lluvias, dependiendo de la zona, por ejemplo en Jalisco solo algunas especies florecen durante la época seca, mientras que en Sonora la mayoría lo hace en esta época. Incluso un porcentaje de las especies pueden presentar floración, aun cuando no haya follaje (Borchert et al. 2004).

La mayoría de las semillas de los árboles de selva baja caducifolia están adaptadas para sobrevivir largos periodos sin humedad, de modo que conservan su viabilidad por largos periodos de sequía. Las especies del estrato herbáceo también producen semillas que toleran condiciones con poca humedad, y muchas herbáceas son anuales, es decir completan su ciclo de vida en unos cuantos meses, por ejemplo, varias Poaceae y Asteraceae (Rzedowski 1978, Challenger 1998).

### **Composición florística de las selvas bajas caducifolias**

Las selvas bajas caducifolias en México cuentan con una alta diversidad y alto recambio de especies entre sitios debido a la extensión que ocupan en el país; se calcula que albergan alrededor del 40% de plantas vasculares endémicas a este tipo de vegetación, valor ocho veces mayor que el encontrado en las selvas tropicales húmedas (Rzedowski 1978). Sin embargo, en las selvas secas es el agua y no la luz el recurso limitante para el crecimiento de plantas y el determinante de la riqueza y diversidad de especies de árboles, arbustos, herbáceas y trepadoras que pueden encontrarse en la selva baja caducifolia (Rzedowski 1978, Trejo y Dirzo 2002).

La flora de la selva baja caducifolia en México tiene fuertes afinidades con los trópicos húmedos y en ella dominan elementos neotropicales. Los taxa mejor representados incluyen los géneros *Acacia*, *Caesalpinia*, *Lonchocarpus* y *Lysiloma* de las Fabaceae, así como los géneros *Bursera*, *Cordia* y *Ceiba* (Miranda y Hernández 1963). Varios géneros están restringidos a este tipo de ecosistemas, tal es el caso de *Cnidoscolus*, *Guaiacum* e *Ipomoea*, entre otros (Rzedowski 1978, Challenger 1998). También es posible encontrar representantes de cactáceas columnares y candelabriformes como parte de las variaciones que pueden presentarse en la fisonomía de estas zonas (Rzedowski 1978, Trejo 2005).

Otra característica es la presencia de lianas leñosas, las cuales forman nichos que posteriormente pueden ser ocupados por otras plantas trepadoras herbáceas, sobre todo de las familias Asclepiadaceae, Convolvulaceae (principalmente *Ipomoea* spp.), Curcubitaceae, Dioscoreaceae, Fabaceae (particularmente de la subfamilia Papilionoideae) y Passifloraceae (Rzedowski 1978, Challenger 1998).

El nivel de endemismo de la flora de la selva baja caducifolia es alto a nivel de especie pero bajo en otras jerarquías taxonómicas. En la selva seca del oeste de México no existen familias endémicas y hay pocos géneros restringidos a México. Por otra parte, algunos géneros endémicos de la selva seca del Pacífico son *Apatzingania*, *Backerbergia*, *Conzattia*, *Dieterlea*, *Guinetia*, *Haplocalymma*, *Mexacanthus* y *Pseudolopezia* (Gentry 1995). A nivel de especies, el endemismo es alto; cerca del 60% de las especies de esta selva son endémicas al país y sobre todo del occidente, especialmente dentro de los géneros *Bernardia*, *Bourreria*, *Brongniartia*, *Bursera*, *Caesalpinia*, *Croton*, *Euphorbia*, *Ipomoea*, *Jatropha*, *Lonchocarpus* y *Solanum* (Rzedowski 1991, Lott y Atkinson 2010).

Se cree que quizá en México las selvas subhúmedas (incluida la selva baja caducifolia) contribuyeron a la diversificación y especiación de las Fabaceae, como centro secundario de radiación de esta familia, que cuenta con 140 géneros (4 de ellos endémicos) y 1,851 especies (de las cuales 896 son endémicas),

siendo la segunda familia con más especies después de las Asteraceae (Rzedowski 1978, Sousa et al. 2001). Otras familias numerosas son Euphorbiaceae, Cactaceae, Compositae, Burseraceae, Malpighiaceae, Rubiaceae, Rhamnaceae, Convolvulaceae, Bignoniaceae, Boraginaceae, Rutaceae, Solanaceae y Verbenaceae (Rzedowski 1991, Lott y Atkinson 2010).

En las selvas tropicales subhúmedas se encuentran representantes de las familias Burseraceae y Cactaceae, para las cuales se considera que esta zona ecológica es el centro de diversificación y endemismo. En México la alta heterogeneidad orográfica puede promover aislamientos geográficos como en la Depresión del Balsas, donde existen selvas tropicales subhúmedas y se considera el centro de diversidad y endemismo para especies del género *Bursera*. Esta área se cataloga como centro “moderno” de diversidad para las Commelinaceae, ya que existen varias especies endémicas como *Tradescantia orchidophylla*, *T. llamassi* y *Thyrsanthemum macrophyllum*. Para las Fabaceae éste es un centro importante ya que ahí se encuentran las poblaciones silvestres más grandes de México de *Leucaena esculenta* (Rzedowski 1991, Challenger 1998).

Las lianas de la selva baja caducifolia se encuentran bien representadas por las familias Bignoniaceae, Fabaceae, Asclepiadaceae, Sapindaceae y Malpighiaceae. Las plantas trepadoras herbáceas mejor representadas pertenecen a las familias Fabaceae, Convolvulaceae, Cucurbitaceae y Dioscoreaceae (Lott y Atkinson 2002).

### **Estructura de la selva baja caducifolia**

El estrato arbóreo de la selva baja caducifolia en México, tiende a una ramificación baja, y las copas van de convexas a planas en su mayoría. Pueden alcanzar alturas de entre 5 y 15 metros, con límites normales entre 8 y 12 m, o bien entre 18 y 20 m en los suelos más profundos de laderas o barrancas. El dosel de este tipo de selva está generalmente dominado por una o pocas especies y

consta de sólo un estrato arbóreo. En cuanto al diámetro del fuste de los árboles, es raro que exceda los 50 cm, excepto en los individuos de *Pithecellobium dulce* (huamúchil), de *Enterolobium cyclocarpum* y de *Ficus* spp., característicos de la selva baja caducifolia. Uno de los rasgos distintivos de la fisonomía de este tipo de vegetación es la corteza de los árboles, ya que tiene distintos colores y texturas; las cortezas brillantes y exfoliantes son relativamente comunes (Challenger 1998, Rzedowski 1998, Trejo 2005).

El estrato arbustivo tiene una altura que varía entre los 3 y 6 m, y puede ser denso en los sitios donde el dosel es ralo. Sin embargo, cuando el dosel está bien desarrollado, como al pie de las laderas, donde el suelo es más profundo, más húmedo y más fértil, el estrato arbustivo puede ser escaso o estar ausente (Rzedowski 1978). Entre los taxa característicos están *Acacia* spp., *Cordia* spp., *Croton* spp., *Malpighia* spp., *Sinclairia glabrum*, *Manihot* sp. y *Salvia sessei*, entre otras (Challenger 1998).

El estrato herbáceo en la selva baja caducifolia puede desarrollarse en ausencia del estrato arbustivo; en la temporada de lluvias aparecen especies como *Begonia heracleifolia*, *Callisia fragans*, *Dorstenia contrajerva* y *Pseudoranthemum alatum*. También se puede observar la presencia de cactus columnares y candelabriformes como *Pachycereus* spp., *Stenocereus* spp. y *Cephalocereus* spp., así como las formas arborescentes de *Opuntia* spp. (Challenger 1998).

La estructura de la selva baja caducifolia se puede ver modificada con la caída de árboles o ramas, ocasionada frecuentemente por la acción de vientos. También mueren árboles por el ataque de escarabajos xilófagos y termitas, pero casi nunca como consecuencia de incendios naturales. En la vegetación secundaria derivada de selvas secas suele predominar especies espinosas, entre las cuales abundan los árboles y arbustos de *Acacia* (Rzedowski 1978, Challenger 1998).

## **Servicios ecosistémicos de la selva baja caducifolia**

El bienestar de las poblaciones humanas depende fuertemente de las posibilidades de extraer productos de la naturaleza tanto alimentos, como materiales de construcción, combustibles, minerales y bienes poco tangibles como los paisajes. Al conjunto de éstos beneficios que el hombre obtiene de los ecosistemas se le conoce como servicios ecosistémicos (Balvanera y Maass 2010).

La capacidad de los ecosistemas para brindar servicios depende de las características particulares de los componentes bióticos y abióticos del ecosistema, así como el tipo y el grado de interacción que ocurre entre ellos y la dinámica con los seres humanos (Balvanera y Maass 2010). En el caso de las selvas secas estas parecen no tener importancia económica, ya que no presentan especies arbóreas grandes que permitan el aprovechamiento de madera (Rzedowski 1978, Challenger 1998, Trejo 2005), sin embargo pueden proporcionar otros bienes.

Entre los servicios que proveen las selvas secas están los de regulación, que son el resultado de interacciones complejas de distintos elementos del ecosistema, como el mantenimiento de condiciones microclimáticas, el mejoramiento de la calidad del agua y la regulación de inundaciones. También están los de soporte, donde ocurren procesos básicos, como la productividad primaria, el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos, el ciclo hidrológico y el mantenimiento de la biodiversidad (Maass et al. 2005, Balvanera y Maass 2010).

Entre los servicios básicos que las selvas secas brindan, está la provisión de agua, que es el factor limitante más importante para el desarrollo de distintos organismos de estos ecosistemas, incluyendo las poblaciones humanas. El agua en estas zonas es fundamental para consumo humano, la ganadería, el desarrollo de la agricultura de riego y para actividades como el turismo. Los recursos hídricos no son abundantes en estos sitios, ya que la precipitación es

relativamente escasa y la demanda debido a la vegetación es alta (Maas et al. 2005), en zonas con selva seca cerca del 90% de la precipitación retorna a la atmósfera por evaporación y evapotranspiración (Burgos 1999). Lo poco que se percola a horizontes profundos es suficiente para mantener los niveles freáticos y la productividad de los pozos y manantiales en la parte baja de las cuencas (Maass et al. 2005, Balvanera y Maass 2010).

Las selvas secas mexicanas juegan un papel preponderante en la calidad del agua que se puede consumir en sus inmediaciones. Los pobladores que habitan estos ecosistemas dependen del agua que se colecta en toda la cuenca, incluyendo su parte alta en la que frecuentemente se encuentran ecosistemas con climas más templados. El agua escurre por ríos o se infiltra a mantos profundos, haciéndose disponible para los habitantes en pozos, represas o manantiales cuenca abajo (Maass et al. 2005).

Es importante considerar que con el crecimiento demográfico y el aumento en el turismo en las selvas secas, la cantidad y la calidad de la diversidad biológica y de los servicios hidrológicos disminuyen, ya que la demanda tiende a incrementar, esto tan sólo considerando los recursos hídricos, por lo que se debe apostar por un manejo sustentable donde la demanda no supere a la oferta de los bienes y servicios que proveen los ecosistemas (Maass et al. 2005).

### **Estudios en ecosistemas similares y cercanos a Malinalco**

En sistemas ecológicos similares en áreas cercanas al municipio de Malinalco, López-Sandoval y colaboradores (2010) elaboraron un estudio florístico en la barranca Nenetzingo, Ixtapan de la Sal, Estado de México y reportan 362 especies que se distribuyen en 89 familias y 248 géneros. Las familias que sobresalen por su riqueza en especies son Asteraceae con 51 (14.1%) y Poaceae con 34 (9.4%). Dichos autores reportan 17 especies nuevas para el Estado de México: *Adiantum princeps*, *Bulbostylis tenuifolia*, *Carminantia recondita*, *Cheilanthes lozanii*, *Dalea tomentosa*, *Desmodium retinens*, *Eleocharis minima*,

*Gnaphalium oxyphyllum*, *Mandevilla foliosa*, *Melampodium tenellum*, *Nissolia fruticosa*, *Pectis uniaristata*, *Rhynchospora holoschoenoides*, *Spilanthes alba*, *Stevia aschenborniana*, *Thenardia floribunda* y *Vernonia capreifolia*.

López-Sandoval et al. (2010), reportan que la forma biológica mejor representada en las barrancas de Nenetzingo son las herbáceas con 236 (65.2%) especies, seguidas por los arbustos 63 (17.4%), trepadoras 26 (7.2%) y árboles 21 (5.8%). La forma biológica menos representada son las parásitas y epífitas con 14 (3.8%) y 2 (0.6%) respectivamente.

Para las barrancas de Tonatico, Gómez-Roa (2013) reporta que el tipo de vegetación predominante es selva baja caducifolia y describe un total de 106 especies arborescentes, las cuales se agrupan en 70 géneros y 36 familias, de las cuales las mejor representadas son las Fabaceae (19 spp.), Burseraceae (9 spp.), Moraceae (7 spp.), Asteraceae (5 spp.).

Nava-Bernal (2008) elaboró el listado de las orquídeas en el municipio de Ocuilan de Arteaga, Estado de México, y registró un total de 144 especies agrupadas en 48 géneros, con 19 nuevos registros para la orchidoflora del estado.

López-Patiño y colaboradores (2012), reportaron la composición arbórea del Área Natural Protegida Tenancingo-Malinalco-Zumpahuacán. Donde se registró la presencia de 72 familias, 162 géneros y 304 especies.

Martínez de la Cruz (2010) describió la flora y vegetación ruderal presente en la carretera Chalma-Malinalco y en la cabecera municipal de Malinalco, reportando 100 familias, 335 géneros y 442 especies. Las familias que predominan por el número de especies y géneros son Asteraceae, Poaceae y Fabaceae.

Existen pocos estudios sobre la flora y vegetación de Malinalco, se puede mencionar el trabajo de Aguilera-Gómez y Rivas-Manzano (2006), que reportan algunas especies presentes en Malinalco: *Ficus petiolaris* (amate amarillo), varias especies de *Bursera*, como *Bursera fagaroides*, *Bursera morelensis* y *Bursera*

*pinnata* (copal), *Lysiloma acapulcensis* (tepehuaje), *Erythrina* sp. (zumpantle), *Eysenhardtia polystachya* (palo dulce), *Helicocarpus therebinthinaceus*, *Ceiba aesculifolia* (ceiba), *Ipomoea murucoides* (cazahuate), *Pseudobombax ellipticum* (cabellín), *Thevetia peruviana* (ayóyotl), de cuyos frutos se fabrican los cascabeles de los danzantes; los cactus *Pereskia* sp. y *Stenocereus stellatus* de porte columnar; cactus globosos como *Mammillaria* spp., varias especies de *Opuntia* (nopales), arbustos como *Croton ciliato-glandulosum*, epífitas como las *Tillandsia* de la familia Bromeliaceae y varias especies de orquídeas, algunas trepadoras o bejucos como *Gonolobus* y *Vigna*, y plantas que viven sobre los cantiles de roca como *Selaginella* sp., *Echeveria* sp. y *Marchantia* sp.

La diversidad florística de Malinalco se incrementa con plantas cultivadas y exóticas en los huertos familiares. En estos se desarrollan principalmente especies frutales como *Casimiroa edulis* (zapote blanco), *Annona cherimola* (chirimoya), *Annona muricata* (anona), *Annona diversifolia* (ilama), *Spondias purpurea* (ciruelas agrias), *Spondias mombim* (ciruelas dulces), *Passiflora edulis* (granadas chinas), *Byrsonima crassifolia* (nanches), *Psidium guajava* (guayaba), *Inga espiria* (cajinicuil) todas estas de origen nativo local; *Eriobotrya japonica* (nísperos), *Citrus limon* (limones), *Citrus sinensis* (naranjas), *Citrus medica* (toronjas), *Punica granatum* (granadas rojas), introducidas desde Asia, *Syzygium jambos* (pomarrosa) introducida del archipiélago malayo y *Coffea arabica* (café) originario de África (Aguilera-Gómez y Rivas-Manzano 2006).

## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar la composición florística y la estructura de la vegetación en dos cañadas con diferente manejo, para inferir el estado de conservación y su relación con la recarga hídrica, en el municipio de Malinalco, Estado de México, México.

### **Específicos**

Determinar la composición florística y la estructura de los diferentes estratos de la vegetación en dos cañadas con diferente manejo.

Comparar la diversidad florística, la estructura de la vegetación y la condición superficial del suelo entre cañadas.

Caracterizar la condición superficial del suelo de las Cañadas San Juan y San Miguel.

Determinar el potencial para la recarga hídrica de las Cañadas San Juan y San Miguel con el mapeo de la zona de estudio en ArcGis 9.2.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Zona de Estudio

#### Municipio de Malinalco

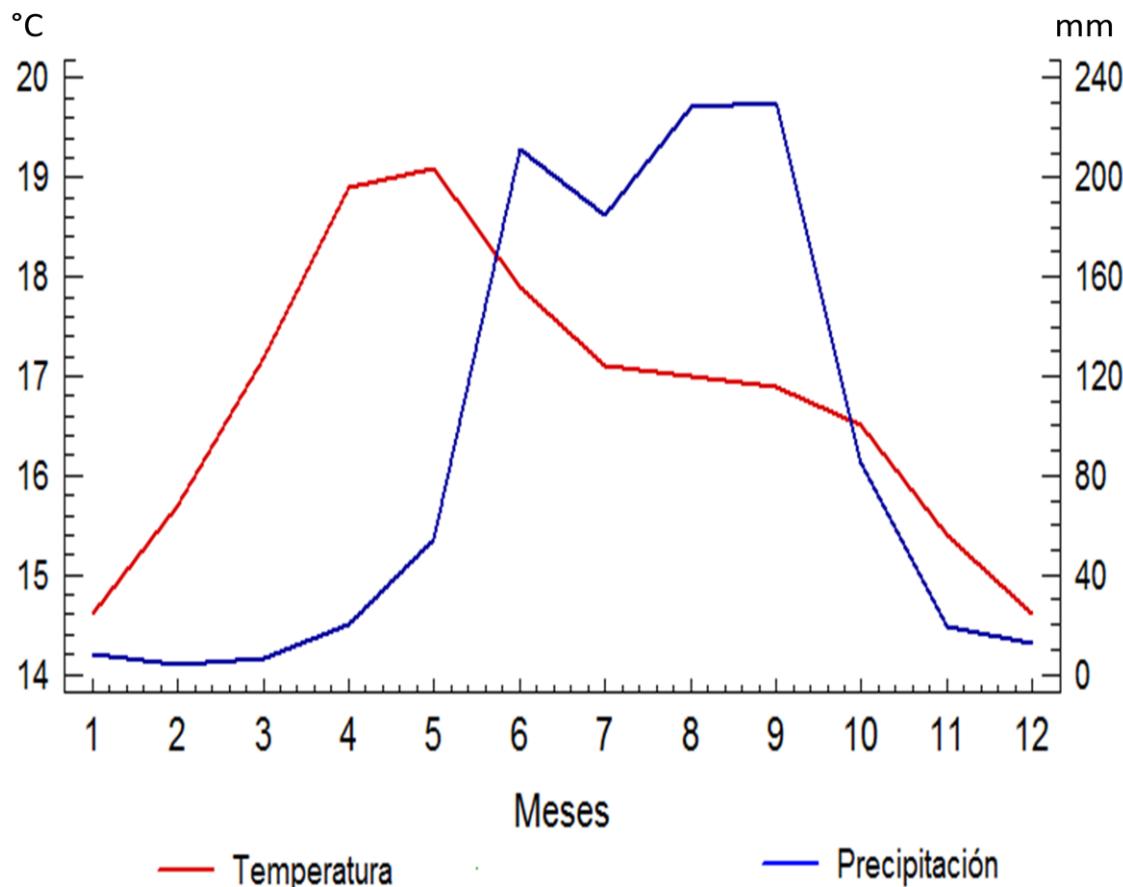
El municipio de Malinalco se ubica al sureste del Estado de México, en las coordenadas  $18^{\circ} 53' 57''$  latitud N y  $99^{\circ} 27' 41''$  longitud W. Colinda al norte con los municipios de Tenancingo de Degollado, Santa María Joquicingo y Ocuilan de Arteaga; al este con el municipio de Ocuilan y el estado de Morelos; al sur con el estado de Morelos y con los municipios de Zumpahuacán y Tenancingo; al oeste con Zumpahuacán y Tenancingo. El municipio presenta un gradiente altitudinal que va de los 1800 hasta los 2600 m (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI] 2009).

Para el municipio de Malinalco se han reportado varios climas a lo largo del municipio, entre ellos están el semicálido subhúmedo con lluvias en verano (A(C) w), el templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw) y el cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw) según el INEGI (2009).

El clima de la zona de estudio es A (C) (w<sub>2</sub>)(w)a(i')g es decir, semicálido subhúmedo con lluvias en verano, con verano cálido, oscilación térmica entre 5° y 7° y marcha de temperatura de tipo Ganges. Con una temperatura media anual de 20.42 °C, temperatura más alta de 22.6 °C en abril y la más baja de 17.6 °C en enero. El mes más húmedo es julio y el más seco es febrero. El régimen de lluvias es de verano, con una división marcada entre la estación húmeda y seca. El periodo de lluvia comprende 4 meses de junio a septiembre (García 1973) (ver figura 1).

El municipio se localiza en las provincias geológicas del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur, y en la subprovincia Sierras y Valles Guerrerenses. Presenta suelos del tipo Feozem, Luvisol, Acrisol, Rendzina, Vertisol y Litosol (CETENAL 1970 1976, INEGI 2009).

La vegetación de Malinalco, se encuentra compuesta por 2 475 ha de pastizal, 2 693 ha de bosque, 8 237 ha de vegetación secundaria derivada de bosque (4 924 ha), 3 312 ha de selva y 115 ha de área urbana (INEGI 2009).



**Figura 1.** Diagrama ombrotérmico del municipio de Malinalco, Estado de México. Los promedios de precipitación y temperatura por un período de 29 años (1981 a 2010). Con datos registrados en la Comisión Nacional del Agua.

(1=E, 2=F, 3=M, 4=Abr., 5=M, 6=J, 7=J, 8=Agst., 9=S, 10=O, 11=N, 12=D).

La vegetación predominante es la selva baja caducifolia (de acuerdo con la clasificación de Miranda y Hernández 1963) o bosque tropical caducifolio (de acuerdo con la clasificación de Rzedowski 1978), las especies de árboles más comunes son: *Bursera fagaroides*, *B. morelensis*, *B. pinnata*, *Ceiba aesculifolia*, *Erythrina* spp., *Eysenhardtia polystachya*, *Ficus petiolaris*, *Helicocarpus therebinthinaceus*, *Ipomoea murucoides*, *Lysiloma acapulcensis* y *Pseudobombax ellipticum*. Existen cactáceas de los géneros *Mammillaria* spp., *Opuntia* spp.,

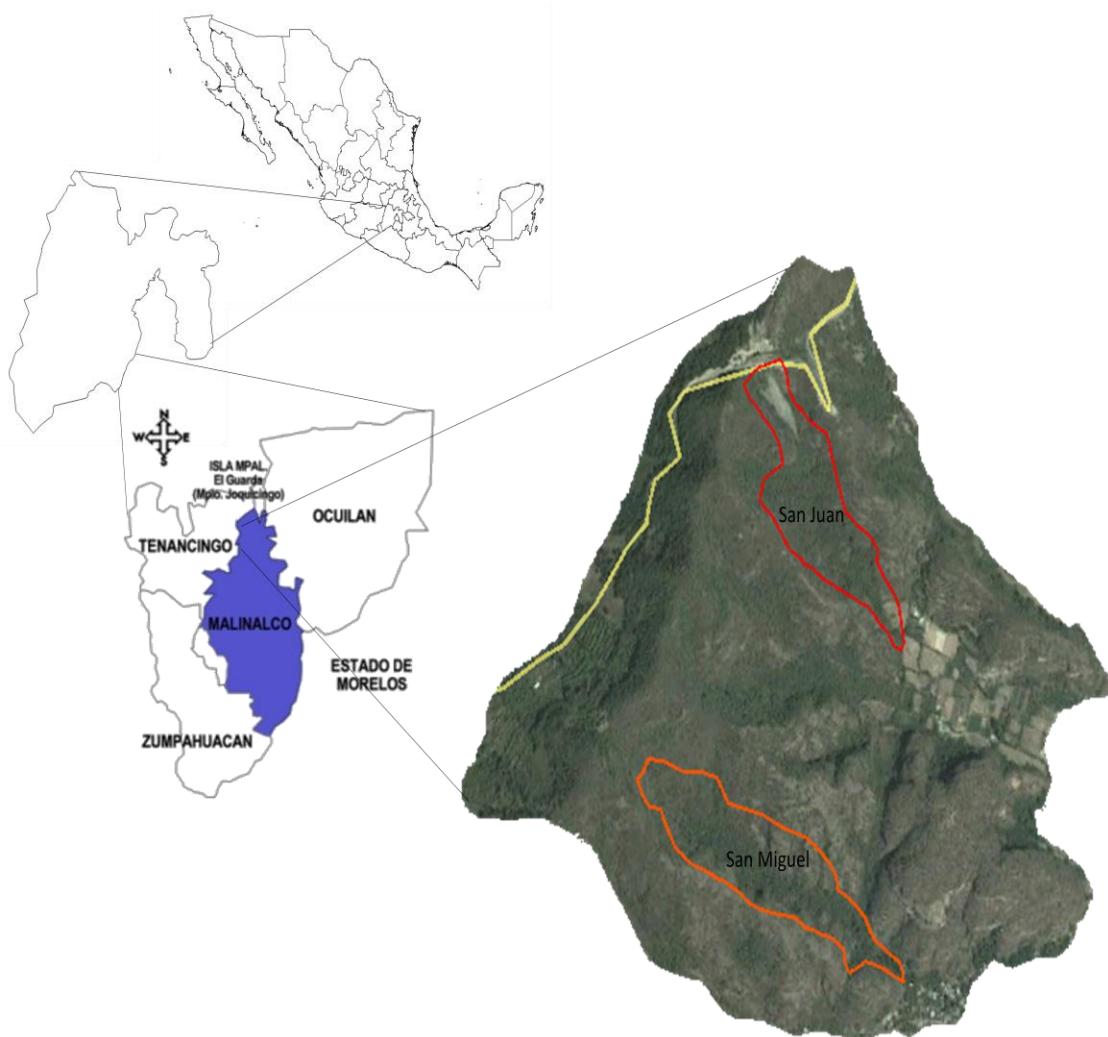
*Pereskia* spp. y *Stenocereus* spp., y entre las epífitas se encuentran especies del género *Tillandsia* (Bromeliaceae) así como varias especies de orquídeas. En algunas cimas de las elevaciones topográficas se desarrollan los bosques de *Pinus* spp. y *Quercus* spp. y zacatonales de *Muhlenbergia macroura*. Otros elementos dentro de la selva baja caducifolia son *Taxodium*, *Salix* y *Alnus* que se desarrollan sobre el curso de ríos y arroyos, y pueden llegar a formar comunidades denominadas bosque de galería (Miranda y Hernández 1963, Rzedowski 1978, Aguilera-Gómez y Rivas-Manzano 2006).

### Sitios de estudio

Las Cañadas San Juan y San Miguel se encuentran al noroeste del municipio de Malinalco, Estado de México como se observa en el mapa de ubicación de la figura 2. La geología está compuesta por rocas ígneas extrusivas, principalmente por basaltos, toba y brecha volcánica. El material edafológico está caracterizado como Litosol, en las laderas altas y cimas de las montañas, y Feozem en el fondo de las cañadas. La vegetación está catalogada como bosque secundario en las partes altas del sistema montañoso y selva baja caducifolia en el fondo de las cuencas (CETENAL 1976, INEGI 2009). Los sitios de estudio presentan condiciones diferentes por el uso histórico y las actividades recientes dentro de ellas.

En la Cañada San Miguel (figura 2) que se ubica al oeste del paraje “El Rincón de San Miguel” en el Barrio Santa Mónica de la cabecera municipal, el acceso está restringido por la caseta de cobro de la zona arqueológica de Malinalco. Este sitio ha permanecido con poca alteración antropogénica aproximadamente desde hace 20 años a la fecha, ya que el paso limitado evita el uso de suelo para ganadería, extracción de leña, incluso la cacería además de la idea de conservar intacto el sitio por los dueños (*comunicación personal* Abel Reynoso Jurado).

La Cañada San Juan (ver figura 2) forma parte del paraje “El Rincón de Techimalco”, perteneciente al Barrio San Juan, ubicado al noroeste del centro histórico de Malinalco, y el acceso a esta cuenca es libre. En el parteaguas de esta barranca se realizó la apertura de la carretera Tenancingo-Malinalco, lo que provocó un derrumbe de 150 metros de longitud dejando ésta área sin vegetación; aunado a ello en medio de la selva existe una parcela de cultivo de 50 m<sup>2</sup> aproximadamente, junto con la extracción de leña y uso de la zona para el pastoreo, son hechos y actividades que afectan la dinámica de la selva. Para el caso de este estudio se midió en sitios donde la vegetación está presente.



**Figura 2.** Mapa de ubicación de las Cañadas San Juan y San Miguel, Malinalco, Estado de México.

## **Método**

La composición florística se determinó a través de la colecta de ejemplares para herbario por quintuplicado. El muestreo se realizó con recorridos quincenales a lo largo de las cañadas durante el período de enero a diciembre de 2013. El material obtenido se herborizó de la manera usual y se identificó mediante claves especializadas en el Herbario de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México. Para complementar la determinación, los ejemplares se cotejaron en el Herbario Nacional de México (MEXU) y con especialistas. Para cada planta identificada se realizó una búsqueda bibliográfica de la taxonomía y su estatus migratorio en México, además de tomar en cuenta la forma biológica y la época de floración que sirvió para determinar la fenología de la vegetación de la zona.

El análisis de la estructura de la vegetación se realizó a través del método de Línea de Canfield (Brower et al. 1990), que consistió en tirar 12 líneas de 20 metros perpendiculares a la orientación de la cuenca y con una separación de aproximadamente 200 m; cada línea abarcó ambas laderas de las barrancas. En cada una se midió la cobertura de todas las plantas que tocaban la línea en los estratos herbáceo (incluyendo trepadoras y epífitas), arbustivo y arbóreo, para éste último se tomó altura de los árboles. Los datos obtenidos en campo se capturaron en una base de datos (Excel), donde se procesó la información para realizar el análisis cuantitativo de la vegetación de las cañadas con la frecuencia, la abundancia y la densidad de cada especie, que además permitieron obtener el valor de importancia de las especies, así como la diversidad de cada sitio según los índices de Simpson y Shannon (Brower et al. 1990).

La condición superficial del suelo se determinó utilizando las líneas de evaluación de vegetación, sobre las cuales se evaluaron dos metros de longitud cada 20 metros, para obtener el porcentaje de mantillo, suelo desnudo, cobertura vegetal y roca expuesta. En líneas de 2 metros de longitud cada 20 metros sobre las líneas de evaluación de vegetación, también se evaluó la profundidad de hojarasca en las cañadas.

### *Índice de diversidad*

Para conocer la diversidad de las cañadas se utilizaron los datos obtenidos con el muestreo en campo en la Línea de Canfield.

El índice de diversidad es una expresión del número de veces promedio que uno tendría que tomar pares de individuos al azar del conjunto entero, para encontrar un par de la misma especie.

El índice de diversidad de una comunidad está dado por el número de especies (riqueza) y por la abundancia de cada una (número de individuos por especie). Se calcula determinando, para cada especie, la proporción de individuos con la que contribuye al total de la muestra.

$$d_s = \frac{1}{\lambda}$$

$d_s$  = índice de diversidad.

$$\lambda = \frac{\sum n_i(n_i-1)}{N(N-1)}$$

Donde:

$\lambda$  = Dominancia.

$n_i$  = Número de individuos de la especie i.

N = es el número total de individuos de todas las especies.

El índice de diversidad de Shannon ( $H'$ ) asume que todas las especies están representadas en la muestra y son muestras al azar. Se utilizó el modelo:

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

Donde:

$$p_i = n_i/N$$

$p_i$ = es la proporción del total de los individuos de la especie i.

$n_i$ = es el número de individuos de la especie i.

$N$ = es el número total de individuos de todas las especies.

Se obtuvo la máxima diversidad de una muestra encontrada cuando todas las especies son igualmente abundantes, para el índice de Simpson se siguió el siguiente modelo:

$$d_{max} = S \frac{(N - 1)}{(N - S)}$$

Donde:

$S$  = la riqueza, el número total de especies diferentes.

Y para el índice de Shannon se obtuvo a partir del siguiente modelo:

$$H'_{max} = \ln S$$

La equidad describe la distribución los individuos ( $N$ ) entre las diferentes especies ( $S$ ).

Para Simpson:

$$e_s = d_s / d_{max}$$

Y para Shannon:

$$J' = H' / H'_{max}$$

### *Prueba de asociación*

Es un método gráfico para determinar la correlación entre dos variables con el test de Olmstead y Tukey, a través de la observación de un diagrama de puntos, que se obtuvo con el paquete estadístico Statistica 12.0 donde se analizaron las especies obtenidas en el análisis cuantitativo de vegetación.

### *Prueba de Similitud*

Para comparar la similitud de diversidad vegetal entre las Cañadas San Juan y San Miguel se utilizó el coeficiente de Jaccard y el coeficiente de Sørensen para indicar que tan similares son ambas barrancas. Los valores de estos coeficientes van de 0 (cuando no se encuentran las especies en ambas comunidades) a 1 (cuando todas las especies se encuentran en ambas comunidades).

El modelo para el Coeficiente de Jaccard es el siguiente:

$$CC_J = \frac{c}{s_1 + s_2 - c}$$

El Coeficiente de Sørensen se calculó mediante el siguiente modelo:

$$CC_S = \frac{2c}{s_1 + s_2}$$

Donde:

$s_1$  y  $s_2$  = número de especies de cada comunidad.

$c$  = número de especies comunes en ambas comunidades.

El índice de Morisita es otro indicador de la similitud de comunidades, basado en el índice de dominancia de Simpson, y mide la probabilidad de que dos individuos tomados al azar en dos comunidades sean de la misma especie. Para lo que se utilizó el modelo:

$$I_M = \frac{2 \sum x_i y_i}{(\lambda_1 + \lambda_2) N_1 N_2}$$

### *Áreas potenciales para la recarga hídrica*

La determinación de las áreas potenciales para la recarga hídrica se realizó con el paquete ArcGis 9.0, donde utilizó la edafología, la geología, la vegetación, la pendiente del terreno, la precipitación y la temperatura de la zona, los datos se obtuvieron del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Estos datos se sumaron y categorizaron de acuerdo a la importancia de cada factor de acuerdo con la literatura.

## RESULTADOS

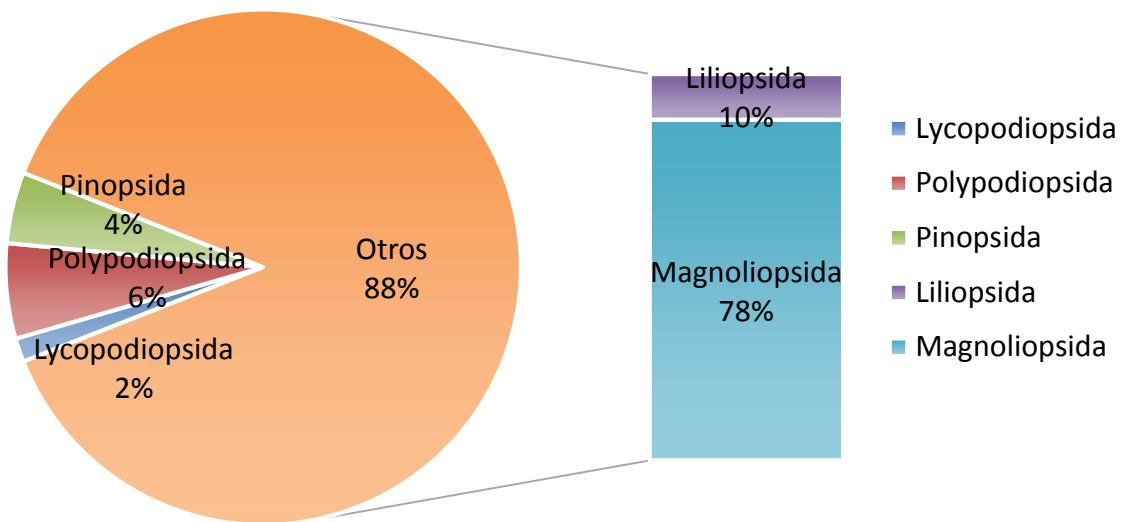
### Composición florística

Se registraron 223 números de los cuales se identificaron con claves especializadas un total de 72 familias, 152 géneros y 200 especies. Las recolectas se realizaron en las Cañadas San Miguel y San Juan, en el período de enero a diciembre de 2013, y se agregaron especies identificadas extemporáneas, como resultado se tiene un listado con ejemplares desde octubre de 2011 hasta febrero de 2014. El resultado final del listado florístico se muestra en el Apéndice 1.

De las especies registradas en este estudio, se reportan por primera vez para el Estado de México las siguientes: *Abutilon giganteum*, *Achimenes heterophylla*, *Arundinella deppeana*, *Asclepias rosea*, *Banisteriopsis argentea*, *Begonia oaxacana*, *Clematis grossa*, *Desmodium intortum*, *Echinopepon floribundus*, *Garrya longifolia*, *Heterocentro axillare*, *Ipomoea dumosa*, *Lasciacis nigra*, *Loeselia pumila*, *Manihot microcarpa* subsp. *microcarpa*, *Melotria trilobata*, *Myrsine myricoides*, *Otopappus jaliscensis*, *Phoebe pallescens*, *Pouzolzia pringlei*, *Russelia chiapensis*, *Schizocarpum filiforme*, *Solanum torvum*, *Stevia latifolia*, *Tetrapterys schiedeana*, *Urtica chaemedryoides*, *Verbesina serrata*, *Verbesina oaxacana*, *Vigna lozanii* y *Viguiera palmeri* var. *rzedowskii*.

### Clases taxonómicas de las plantas identificadas

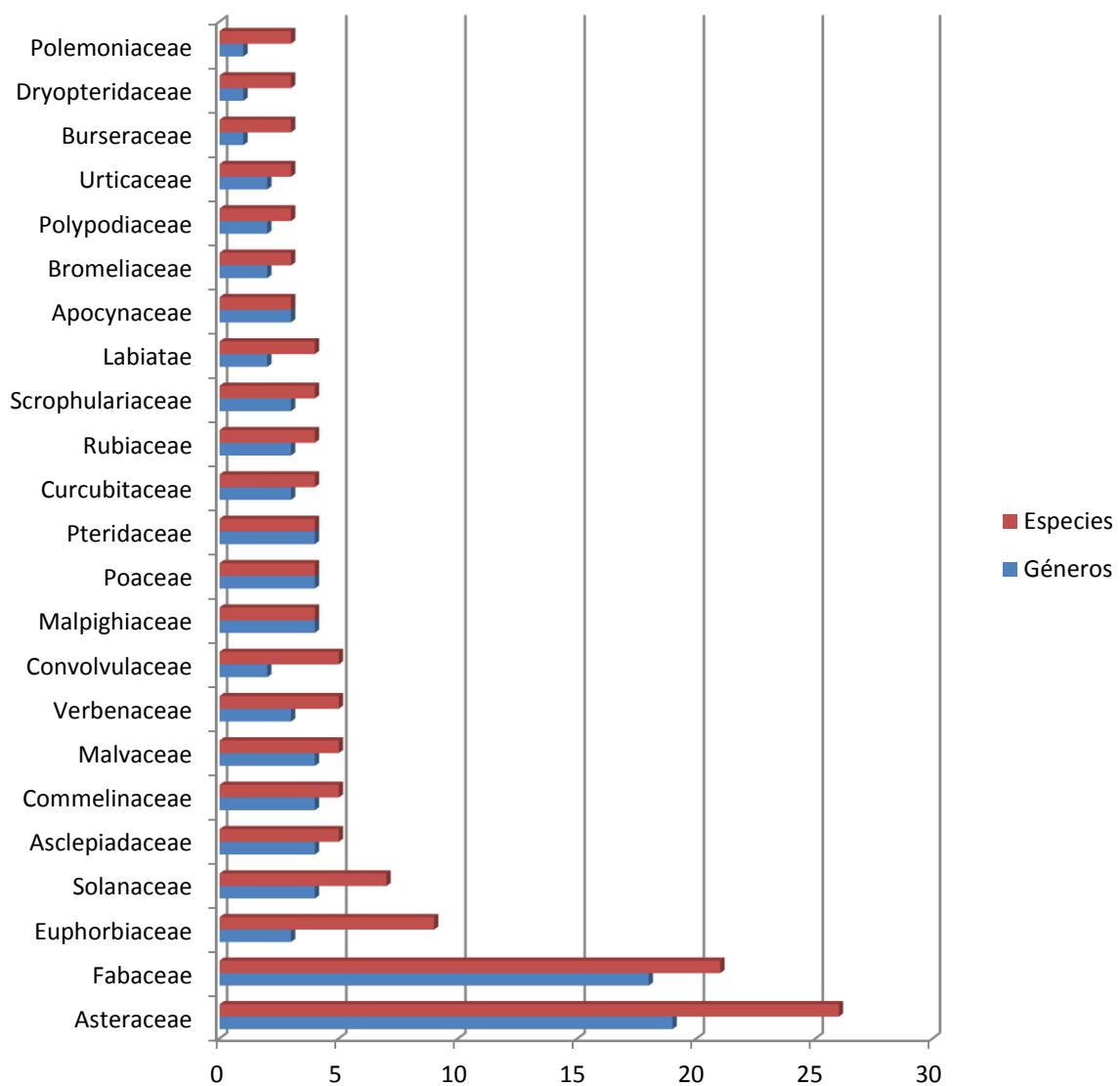
En las Cañadas San Juan y San Miguel, Malinalco de las 199 especies determinadas se clasificaron en 5 clases taxonómicas. El grupo de las angiospermas es el mejor representado con el 88% del total (entre Magnoliopsida y Liliopsida con el 78% y el 10% respectivamente), la tercer clase con más especies es Polypodiopsida con el 6%, seguida de la Pinopsida con el 4% y la Lycopodiopsida que representan el 2% (ver figura 3).



**Figura 3.** Porcentaje de cada Clase taxonómica que agrupa las especies presentes en la zona de estudio.

#### *Familias taxonómicas de planas*

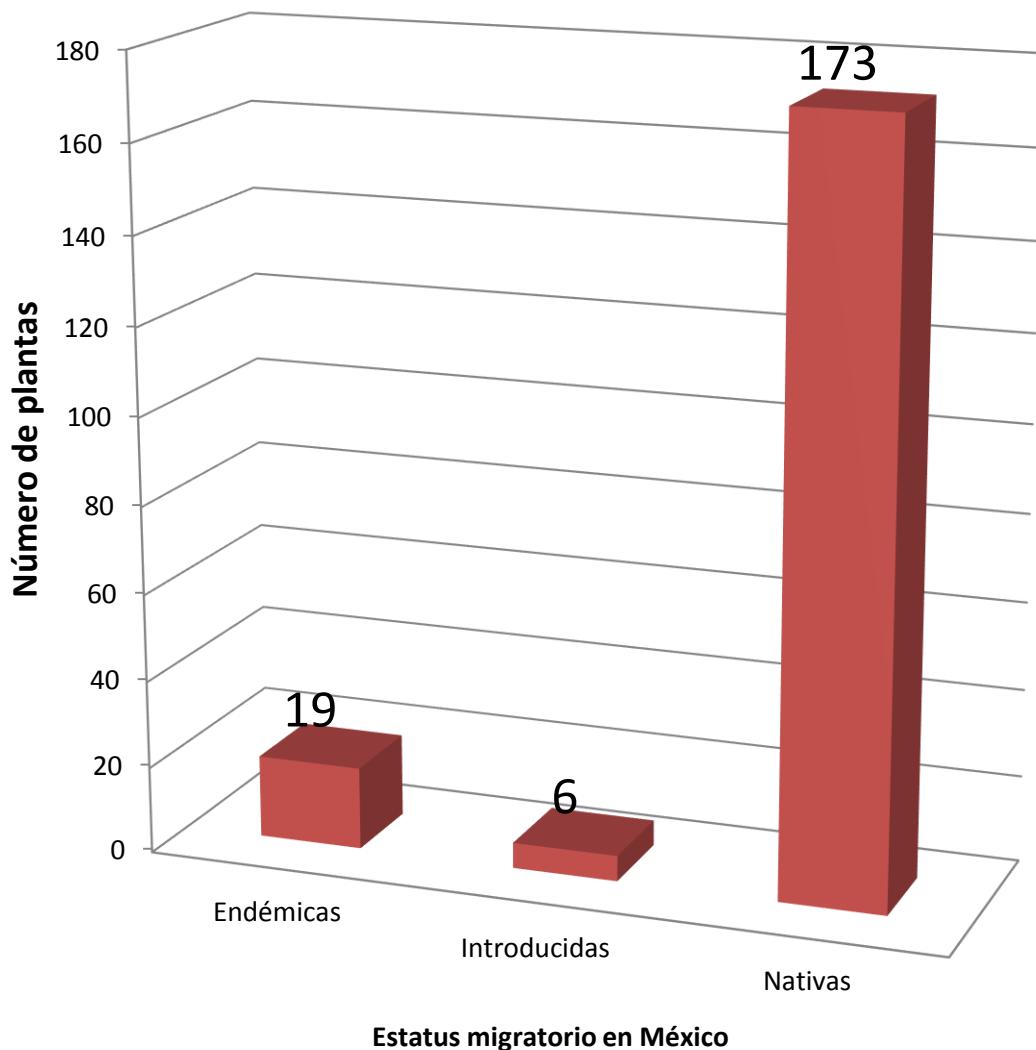
Las plantas identificadas con mayor riqueza son las Asteraceae con 19 géneros y 26 especies, las Fabaceae con 18 géneros y 21 especies. Después están las Euphorbiaceae con 3 géneros y 9 especies, las Solanaceae con 4 géneros y 7 especies (figura 4). La clase Pinopsida presenta 3 familias, con 3 géneros y 4 especies.



**Figura 4.** Familias con el mayor número de géneros y especies presentes en los sitios de estudio.

#### *Estatus migratorio en México*

Las 198 especies determinadas para la zona de estudio se clasificaron según su estatus migratorio reportado para México, considerando tres grupos importantes, en la figura 5 se observa que el 87.4% de las especies son nativas, 9.6% son endémicas y sólo se encontraron 6 especies introducidas que representan el 3% de las especies registradas.



**Figura 5.** Especies agrupadas según su estatus migratorio en México.

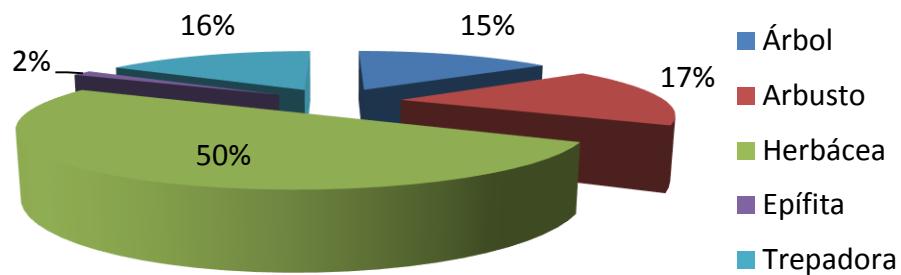
Las especies de especial interés en este estudio, son las endémicas ya que son las que están restringidas al territorio nacional. En el cuadro 1 se muestran las especies con la categoría de endémicas a México. Probablemente el caso de mayor interés es *Alophia veracruzana* reportada sólo para el estado de Veracruz.

**Cuadro 1.** Lista de especies consideradas como endémicas a México.

Nombre científico	Familia	Estatus migratorio
<i>Mandevilla foliosa</i> (Müll. Arg.) Hemsl.	Apocynaceae	
<i>Arisaema macrospathum</i> Benth.	Araceae	Endémica
<i>Stevia latifolia</i> Benth.		
<i>Verbesina serrata</i> Cav.	Asteraceae	
<i>Perymenium reticulatum</i> Fray.		Endémica del Edo. de Méx.
<i>Bursera cuneata</i> (Schltdl.) Engl.	Burseraceae	Endémica del centro-sur de México
<i>Opuntia aff. velutina</i> F.A.C.Weber	Cactaceae	
<i>Thysanthemum goldianum</i> D.R. Hunt	Commelinaceae	Endémica
<i>Dioscorea longituba</i> Uline	Dioscoreaceae	
<i>Dioscorea oreodoxa</i> B. G. Schubert		Endémica del Edo. de Méx.
<i>Diphysa puberulenta</i> Rydb.	Fabaceae	Endémica
<i>Alophia veracruzana</i> Goldblatt & T. M. Howard	Iridaceae	Endémica de Veracruz
<i>Salvia mexicana</i> var. <i>mexicana</i> L.	Labiatae	
<i>Heterocentron axillare</i> Naudin	Melastomataceae	
<i>Ficus petiolaris</i> Kunth	Moraceae	
<i>Laelia autumnalis</i> Lindl.	Orquidaceae	Endémica
<i>Tripsacum</i> sp.	Poaceae	
<i>Lamourouxia rhinanthifolia</i> H.B.K.	Scrophulariaceae	
<i>Taxodium mucronatum</i> Ten.	Taxodiaceae	

#### Forma biológica

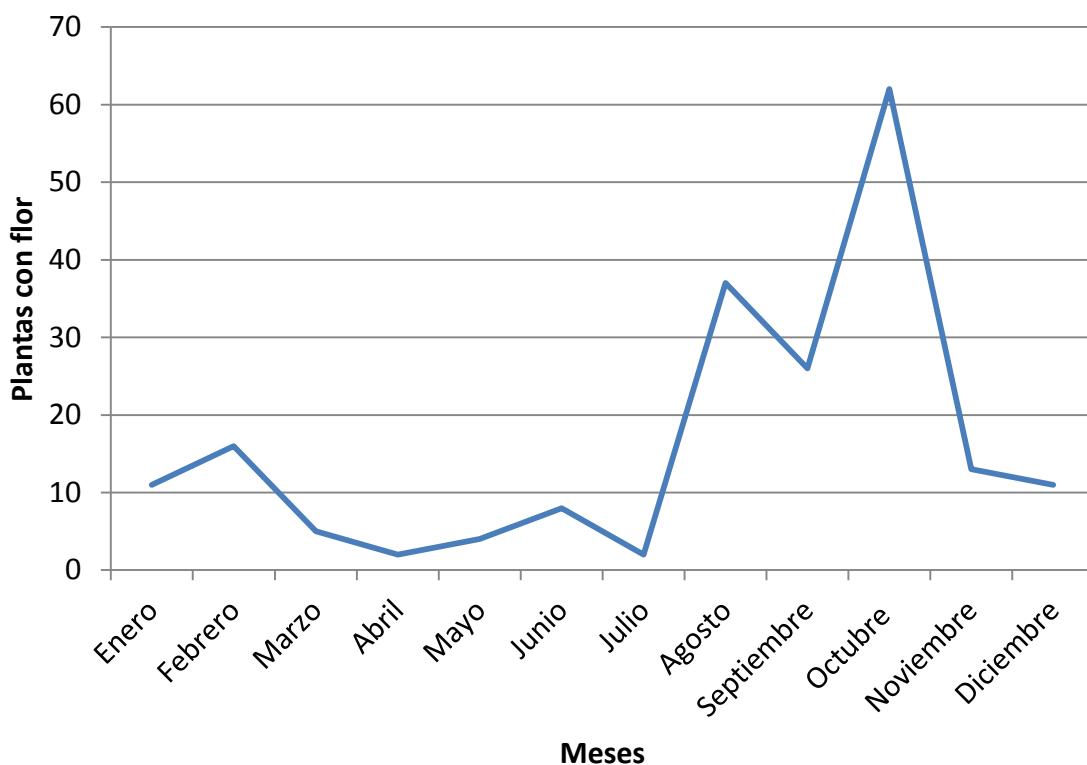
La forma biológica mejor representada son las herbáceas con la mitad del total (50%), seguidas en orden de importancia por los arbustos con el 17%, los árboles (15%), las trepadoras (16%) y por último las epífitas (2%) (Fig. 6).



**Figura 6.** Plantas agrupadas según la forma biológica, donde predominan las herbáceas.

### *Floración*

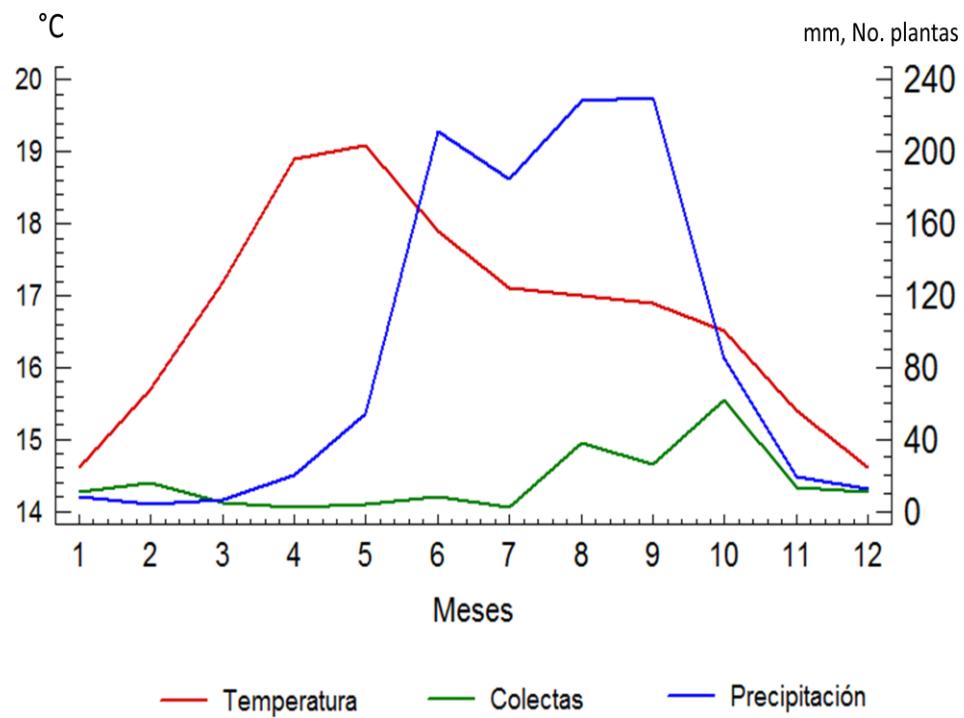
La figura 7 muestra la actividad de floración en la selva baja caducifolia de los sitios de estudio. Se aprecia el punto más bajo en Abril que es el mes con mayor temperatura. Luego se observan dos picos; el primero a finales del verano y el segundo a mediados de otoño.



**Figura 7.** Número de ejemplares recolectados con flores por mes en las Cañadas de San Miguel y San Juan, Malinalco, México.

El clima es un factor determinante para la época de floración y la presencia de cobertura vegetal en las cañadas y zonas aledañas al sitio de estudio. La precipitación en Malinalco se concentra sólo durante el verano, entre los meses de Mayo a Septiembre (ver figura 8). La oscilación térmica, por otra parte, se puede considerar como estable a lo largo de todo el año.

La floración a lo largo del año presenta un comportamiento similar con la marcha de la precipitación, ya que la floración aumenta con la disminución en las lluvias, en el caso de las Cañadas San Juan y San Miguel, y en la región en general, este evento sucede en verano (ver figura 8). Así mismo, la fisonomía comienza a cambiar con las primeras lluvias en a finales de mayo y principios de junio, donde las hojas de las plantas inician su crecimiento y al igual que las plantas anuales comienzan a crecer.



**Figura 8.** Gráfica de comparación de la temperatura y precipitación con el número de especies con flor por mes.

## Fisonomía

### Cañada San Juan

Esta cañada forma parte del paraje “El Rincón de Techimalco”, en el Barrio de San Juan, ubicado al noroeste de la zona centro de la cabecera municipal de Malinalco, principia en las coordenadas 18°27'36” latitud N y 99°30'16” longitud

W, con una extensión de 700 m aproximadamente de longitud y una amplitud de 80 – 100 m, con un gradiente altitudinal que va desde los 1900 m al inicio de la barranca hasta los 2100 m en el parte más alta. El suelo es somero, de tipo Regosol y Litosol según CETENAL 1970, 1976 e INEGI 2009, la vegetación es abierta tanto en las laderas altas como al fondo de la cañada.

La cañada corre de Sureste a Noroeste, con pendientes que van de 10 hasta 60%, y en las partes más altas alcanza hasta un 70%, sin embargo en la zona más alta donde existe un derrumbe de rocas la pendiente puede alcanzar hasta un 85%. La exposición de rocas es evidente en los escarpes que representan un 15% en las laderas altas y en las laderas bajas un 10% más. La profundidad del fondo de la barranca con respecto a los puntos más altos de las elevaciones es de 50 – 80 m.

La vegetación se considera como selva baja caducifolia y vegetación secundaria, con la presencia de tres estratos, el arbóreo con un promedio de altura de 8.7 m, el arbustivo de 1 – 3 metros de altura, y para el herbáceo está entre 5 cm – 1 m. La mayor parte de las especies dejan caer las hojas en la época seca excepto algunos elementos como *Ficus velutina*, *Juniperus flaccida* y *Pinus*, que se encuentran verdes la mayor parte del año, incluso durante la época de estiaje.

En la Cañada San Juan no se han realizado estudios faunísticos que permitan conocer la diversidad de este grupo, sin embargo los pobladores de la zona hacen mención de la presencia de mamíferos como tlacuaches, conejos, tejones, ardillas, armadillos. Aves como el zopilote, el aura, los colibríes, el pájaro carpintero, el pájaro gato, aguilillas y búhos, entre otros; reptiles como lagartijas, víboras y culebras. Y Quirópteros como *Sturnira lilium*, *Artibeus jamaicensis*, *Nyctinomops* sp., *Lasiurus blossevilli* (Identificados por el Dr. Caballero-Martínez en 2012). La fauna doméstica en esta barranca aún se puede encontrar ramoneando libremente, como el caso del ganado vacuno. Es importante

mencionar que en este sitio existe una parcela de aproximadamente 500 m<sup>2</sup>, donde se cultiva maíz de temporal, esta área parece estar delimitada por un tecorral o muro de piedras sobrepuertas.

Los muros de piedra o tecorrales son indicios de zonas para el cultivo en la época prehispánica, ya que forman terrazas de dentro de la selva, algunos autores como Mier (2005) menciona la existencia de 10 estancias indígenas, que cultivaban y vivían en las cañadas, pies de monte o cerca de los manantiales, una de estas era Techimalco. En el siglo XVI durante la Conquista fueron obligados a migrar hacia los actuales barrios, de esta manera los habitantes de Techimalco junto con otra estancia conformaron San Juan. Durante la época de la Colonia los habitantes de San Juan utilizaron el Paraje del Rincón para liberar el ganado dentro de la selva y cultivar en los sitios con menor pendiente. Actualmente es conocido como paraje El Rincón de Techimalco, la agricultura y la ganadería siguen vigentes en la Cañada San Juan (Mier 2005).

#### *Cañada San Miguel*

La cañada San Miguel forma parte del paraje “El Rincón de San Miguel”, ubicado en el Barrio de Santa Mónica a 750 metros al suroeste del centro histórico de la cabecera municipal de Malinalco, y principia en las coordenadas 18° 57' 12" latitud N y 99° 30' 24" longitud W; con una extensión de 700 metros de longitud; presenta un gradiente altitudinal que va de los 1830 m a los 2050 m. Se puede considerar que esta cañada tiene cierta protección, ya que el acceso principal a este sitio es a través de la caseta de cobro de la Zona Arqueológica de Malinalco, lo que restringe la entrada.

La orientación de la Cañada San Miguel es de oriente a poniente, con exposición Este, el punto más bajo de la cañada comienza en los 18° 57' 12" Lat N y 99° 30' 24" Long W y termina en 18° 57' 20" Lat N y 99° 30' 24" Long W. Las pendientes van desde moderadas hasta fuertes, con inclinaciones del 10 al 60%, y en algunas zonas pueden llegar a más del 70%. La profundidad promedio del

fondo de la cañada con respecto a las cimas de las elevaciones es de 90 – 100 m. A lo largo de la cañada se observan frecuentes afloramientos de rocas ígneas, sobre todo en las partes altas de las laderas, donde son evidentes los escarpes. El suelo es somero, de poca profundidad hacia las laderas altas y más profundo en el fondo de la cañada. Según las cartas edafológicas del CETENAL 1970, 1976 e INEGI 2009, el material edáfico es del tipo Regosol y Litosol.

La vegetación es más abierta hacia las cimas de las laderas y en el fondo de las cañadas se presenta con mayor densidad. El tipo de vegetación presente se considera como selva baja caducifolia y vegetación secundaria, donde se distinguen 3 estratos, el estrato arbóreo es el más alto con un promedio de 8.9 m, seguido del arbustivo con alturas aproximadamente de hasta 3 m y el herbáceo de hasta 1.5 m de altura. La vegetación de este sitio es caducifolia; herbáceas, arbustos y árboles pierden el follaje en la época seca del año, excepto *Ficus velutina* y *Juniperus flaccida*, que se mantienen verdes todo el año.

En la Cañada de San Miguel no se han realizado estudios faunísticos que permitan conocer la diversidad de estos animales vertebrados, sin embargo existen avistamientos por parte de los pobladores de Malinalco que confirman la presencia de animales como los antes mencionados en la Cañada San Juan. En este sitio la fauna doméstica parece no ser un problema actual, ya que no se encontraron rastros recientes de ganadería o algún otro animal en la zona.

#### *Perfil de vegetación*

El perfil de vegetación de las Cañadas San Juan y San Miguel de Malinalco, Estado de México es una representación gráfica de la estructura y fisonomía de la vegetación, además considera la densidad, la frecuencia y la cobertura de las especies dentro de cada sitio (figuras 9 y 10).

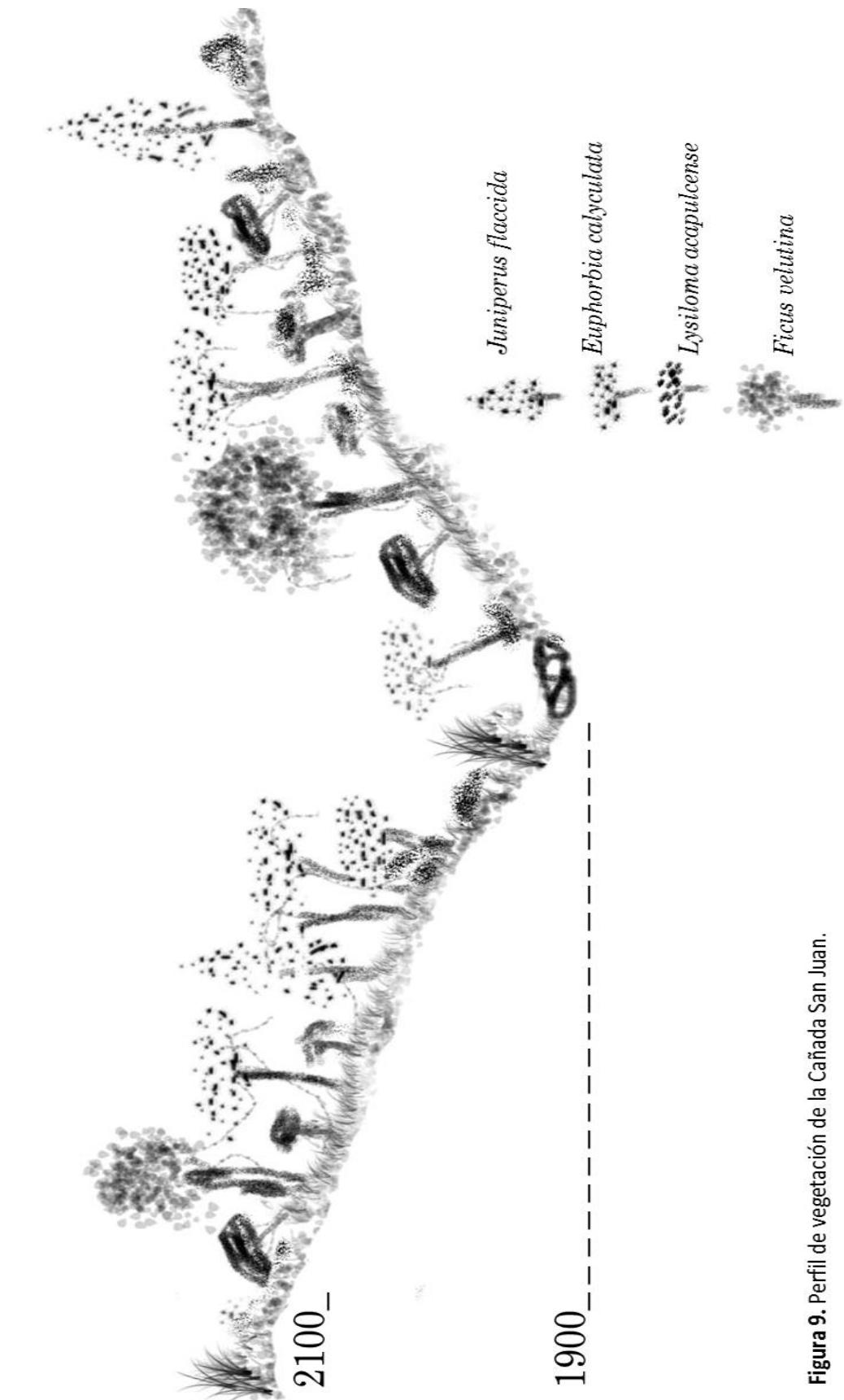


Figura 9. Perfil de vegetación de la Cañada San Juan.

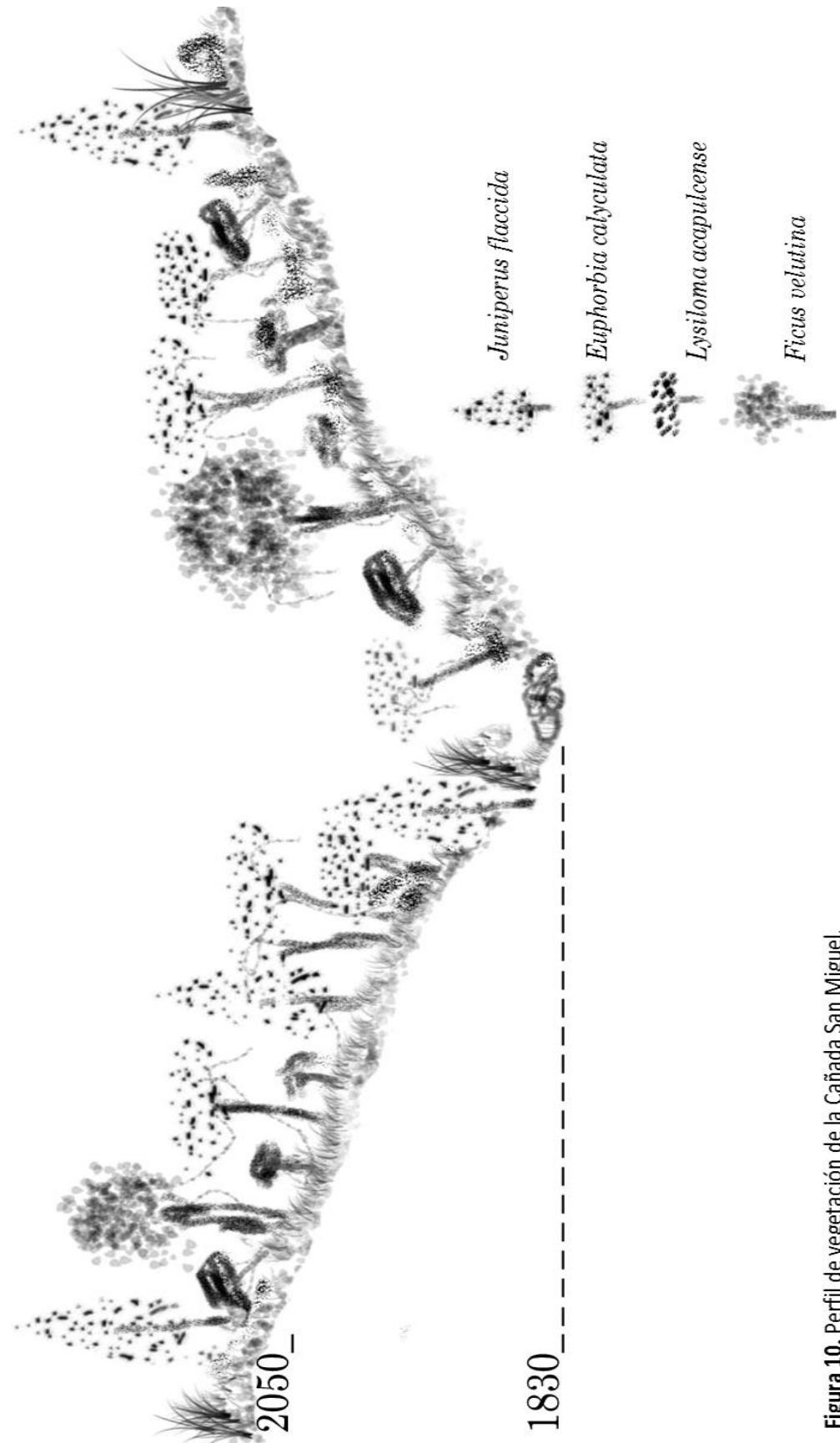


Figura 10. Perfil de vegetación de la Cañada San Miguel.

## Estructura de la vegetación

### Análisis cuantitativo de la vegetación en la Cañada San Juan

En la Cañada San Juan se encontraron 14 especies de árboles con un total de 96 individuos. El promedio de altura del dosel es de 8.7m, con algunos elementos de hasta 21 m que se pueden considerar eminencias dentro de la selva, como *Ficus velutina* y *Juniperus flaccida*. En la comunidad destacan *Lysiloma acapulcense*, *Euphorbia calyculata*, *Juniperus flaccida* y *Licania* sp., entre estas cuatro especies están los mayores valores de densidad, frecuencia y cobertura, lo que les confiere los mayores valores de importancia en el estrato arbóreo (Cuadro 2). No obstante, *Lysiloma acapulcense* es la especie dominante en este estrato con un VI de 28.08% que es 2.2 veces mayor que el de *Euphorbia calyculata*, especie que le sigue en valor de importancia (VI=12.73%).

**Cuadro 2.** Densidad, frecuencia, cobertura y valor de importancia de los árboles de la Cañada San Juan.

Especie	Índice de densidad lineal	Densidad relativa (%)	Frecuencia	Frecuencia relativa (%)	Índice de cobertura lineal	Cobertura relativa (%)	Valor de importancia (%)
<i>Annona cherimola</i>	0.0083	2.083	0.1667	3.7	4.167	2.57	2.79
<i>Bocconia arborea</i>	0.0083	2.083	0.1667	3.7	1.229	0.76	2.18
<i>Bursera bipinnata</i>	0.0167	4.167	0.3333	7.41	9.125	5.63	5.73
<i>Diphysa puberulenta</i>	0.0208	5.208	0.25	5.56	6.167	3.81	4.86
<b><i>Euphorbia calyculata</i></b>	<b>0.0542</b>	<b>13.542</b>	<b>0.5</b>	<b>11.11</b>	<b>21.958</b>	<b>13.55</b>	<b>12.73</b>
<i>Ficus velutina</i>	0.0042	1.042	0.0833	1.85	7.250	4.47	2.46
<i>Helicocarpus terebinthinaceus</i>	0.0208	5.208	0.25	5.56	8.232	5.08	5.28
<i>Ipomoea murucoesoides</i>	0.0208	5.208	0.4167	9.26	<b>10.708</b>	6.61	7.03
<b><i>Juniperus flaccida</i></b>	<b>0.0417</b>	<b>10.417</b>	<b>0.5833</b>	<b>12.96</b>	<b>18.041</b>	<b>11.13</b>	<b>11.50</b>
<i>Leucaena macrophylla</i>	0.0125	3.125	0.1667	3.7	2.563	1.58	2.80
<b><i>Licania</i> sp.</b>	<b>0.0542</b>	<b>13.542</b>	<b>0.5833</b>	<b>12.96</b>	6.821	4.21	<b>10.24</b>
<b><i>Lysiloma acapulcense</i></b>	<b>0.1208</b>	<b>30.208</b>	<b>0.75</b>	<b>16.67</b>	<b>60.562</b>	<b>37.37</b>	<b>28.08</b>
<i>Psidium guajava</i>	0.0125	3.125	0.1667	3.7	4.396	2.71	3.18
Especie 1	0.0042	1.042	0.0833	1.85	0.833	0.51	1.14

En el estrato arbustivo de la Cañada San Juan se encontraron 20 especies (cuadro 3) con un total de 145 individuos. En este caso destacan *Verbesina serrata*, *Verbesina fastigiata*, *Montanoa arborescens*, *Cestrum lanatum* y *Solanum cervantesii*, estas especies conjugan los valores más altos de densidad, frecuencia y cobertura, lo que les confiere los mayores valores de importancia.

**Cuadro 3.** Valores de densidad, frecuencia, cobertura y valor de importancia de los arbustos de la Cañada San Juan.

Especie	Índice de densidad lineal	Densidad relativa (%)	Frecuencia	Frecuencia relativa (%)	Índice de cobertura lineal	Cobertura relativa (%)	Valor de importancia (%)
<i>Acacia angustissima</i>	0.0250	4.14	0.167	3.57	1.433	1.80	3.17
<i>Bouvardia multiflora</i>	0.0333	5.52	0.417	8.93	2.246	2.83	5.76
<b><i>Cestrum lanatum</i></b>	0.0917	<b>15.17</b>	0.750	<b>16.07</b>	0.742	0.93	<b>10.73</b>
<i>Erythrina breviflora</i>	0.0042	0.69	0.083	1.79	1.667	2.10	1.52
<i>Eupatorium areolare</i>	0.0292	4.83	0.083	1.79	3.771	4.75	3.79
<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	0.0083	1.38	0.083	1.79	0.342	0.43	1.2
<i>Iresine grandis</i>	0.0625	<b>10.34</b>	0.167	3.57	1.696	2.13	5.35
<i>Lippia callicarpa</i>	0.0083	1.38	0.167	3.57	1.492	1.88	2.28
<i>Malvaviscus arboreus</i>	0.0042	0.69	0.083	1.79	0.833	1.05	1.17
<i>Mimosa albida</i>	0.0125	2.07	0.167	3.57	0.642	0.81	2.15
<b><i>Montanoa arborescens</i></b>	0.0375	6.21	0.250	5.36	18.083	<b>22.76</b>	<b>11.44</b>
<i>Pouzolzia occidentalis</i>	0.0042	0.69	0.083	1.79	1.458	1.84	1.44
<i>Sinclairia glabra</i>	0.0083	1.38	0.167	3.57	0.750	0.94	1.96
<b><i>Solanum cervantesii</i></b>	0.0417	<b>6.90</b>	0.333	7.14	9.700	<b>12.21</b>	<b>8.75</b>
<i>Thryallis glauca</i>	0.0083	1.38	0.167	3.57	1.375	1.73	2.23
<i>Trigonospermum melampodioides</i>	0.0042	0.69	0.083	1.79	0.075	0.09	0.86
<b><i>Verbesina fastigiata</i></b>	0.0708	<b>11.72</b>	0.417	<b>8.93</b>	15.125	<b>19.04</b>	<b>13.23</b>
<b><i>Verbesina serrata</i></b>	0.1375	<b>22.76</b>	0.750	<b>16.07</b>	17.367	<b>21.86</b>	<b>20.23</b>
<i>Vernonia salicifolia</i>	0.0083	1.38	0.167	3.57	0.583	0.73	1.90
<i>Viguiera palmeri</i>	0.0042	0.69	0.083	1.79	0.058	0.07	0.85

Cabe destacar del cuadro 3 que *V. serrata* es la dominante en este estrato con un VI de 20.23%, que es 1.5 veces mayor que el de *V. fastigiata* la cual tiene el VI más cercano (VI=13.23%). *M. arborescens* a pesar de que no tiene alta densidad, sí tiene altos valores de cobertura por lo que su VI alcanza a ser de 11.44%.

En las herbáceas se registraron 39 especies con una abundancia total de 1279 individuos (Cuadro 4). Las especies con los valores más altos de densidad, frecuencia y cobertura son *Oplismenus burmannii*, *Salvia mexicana* var. *mexicana* y *Loeselia glandulosa*. Mismas que dominan el estrato herbáceo por su alto valor de importancia, de éstas es *Oplismenus burmannii* la que tiene el VI más alto con el 30.88%, que es 2.14 veces mayor que *Salvia mexicana* var. *mexicana* que le sigue en valor de importancia (VI=14.39%).

**Cuadro 4.** Valores de densidad, frecuencia, cobertura y valor de importancia para el estrato herbáceo de la Cañada San Juan.

Especie	Índice de densidad lineal	Densidad relativa (%)	Frecuencia	Frecuencia relativa (%)	Índice de cobertura lineal	Cobertura relativa (%)	Valor de importancia (%)
<i>Acalypha setosa</i>	0.013	0.23	0.08	0.87	0.24	0.24	0.45
<i>Acalypha</i> sp.	0.004	0.08	0.08	0.87	0.07	0.07	0.34
<i>Adiantum concinnum</i>	0.154	2.89	0.50	5.22	3.82	3.83	3.98
<i>Ageratum corymbosum</i>	0.004	0.08	0.08	0.87	0.08	0.08	0.34
<i>Arisaema macrospathum</i>	0.063	1.17	0.42	4.35	1.73	1.73	2.42
<i>Arundinella deppeana</i>	0.004	0.08	0.08	0.87	0.22	0.22	0.39
<i>Begonia oaxacana</i>	0.013	0.23	0.08	0.87	0.49	0.49	0.53
<i>Bidens odorata</i>	0.125	2.35	0.42	4.35	0.50	0.50	2.40
<i>Blechnum glandulosum</i>	0.050	0.94	0.08	0.87	1.55	1.56	1.12
<i>Bommeria pedata</i>	0.021	0.39	0.17	1.74	0.30	0.31	0.81
<i>Capsicum annuum</i>	0.004	0.08	0.08	0.87	0.08	0.08	0.34
<i>Commelina diffusa</i>	0.025	0.47	0.08	0.87	0.21	0.21	0.52
<i>Crusea calocephala</i>	0.008	0.16	0.17	1.74	0.07	0.07	0.66

<i>Cuphea paucipetala</i>	0.067	1.25	0.42	4.35	1.02	1.02	2.21
<i>Cuphea toluccana</i>	0.071	1.33	0.25	2.61	1.90	1.90	1.95
<i>Dryopteris cinnamomea</i>	0.042	0.78	0.33	3.48	1.46	1.46	1.91
<i>Dryopteris patula</i>	0.075	1.41	0.25	2.61	2.21	2.22	2.08
<i>Dryopteris rossii</i>	0.013	0.23	0.17	1.74	0.25	0.25	0.74
<i>Eupatorium pycnocephalum</i>	0.004	0.08	0.08	0.87	0.10	0.10	0.35
<i>Gibasis pellucida</i>	0.029	0.55	0.25	2.61	1.10	1.10	1.42
<b><i>Iresine diffusa</i></b>	0.179	3.36	0.67	<b>6.96</b>	4.25	4.27	4.86
<i>Lasiacis nigra</i>	0.138	2.58	0.08	0.87	6.15	6.17	3.21
<b><i>Loeselia glandulosa</i></b>	0.492	<b>9.23</b>	0.75	<b>7.83</b>	7.78	<b>7.8</b>	<b>8.28</b>
<i>Lycianthes ciliolata</i>	0.017	0.31	0.08	0.87	0.35	0.35	0.51
<b><i>Oplismenus burmannii</i></b>	2.717	<b>50.98</b>	1	<b>10.43</b>	31.15	<b>31.23</b>	<b>30.88</b>
<i>Pecluma ferruginea</i>	0.017	0.31	0.08	0.87	0.18	0.18	0.45
<i>Phytolacca icosandra</i>	0.013	0.23	0.08	0.87	0.19	0.19	0.43
<i>Pleopeltis macrocarpa</i> var. <i>tricophora</i>	0.013	0.23	0.08	0.87	0.10	0.10	0.40
<i>Ruselia chiapensis</i>	0.017	0.31	0.08	0.87	0.47	0.47	0.55
<b><i>Salvia mexicana</i></b> var. <b><i>mexicana</i></b>	0.533	<b>10.01</b>	0.83	<b>8.7</b>	24.40	<b>24.47</b>	<b>14.39</b>
<i>Salvia purpurea</i>	0.050	0.94	0.17	1.74	1.85	1.86	1.51
<i>Salvia sessei</i>	0.004	0.08	0.08	0.87	0.21	0.21	0.39
<i>Selaginella palescens</i>	0.046	0.86	0.25	2.61	0.45	0.45	1.31
<i>Solanum bulbocastanum</i>	0.075	1.41	0.25	2.61	1.28	1.29	1.77
<i>Spananthe paniculata</i>	0.150	2.81	0.58	6.09	2.78	2.79	3.90
<i>Spermacoce confusa</i>	0.025	0.47	0.08	0.87	0.20	0.20	0.51
Especie 1	0.004	0.08	0.08	0.87	0.14	0.14	0.36
Especie 2	0.004	0.08	0.08	0.87	0.18	0.18	0.38
Plántulas	0.050	0.94	0.17	1.74	0.21	0.21	0.96

Se contabilizaron 15 especies de trepadoras en la Cañada San Juan (Cuadro 5) con una abundancia total de 206 individuos. En esta forma de vida las especies con mayor valor en densidad, frecuencia y cobertura son *Cologania broussonetii*, *Phaseolus coccineus* y *Plumbago pulchella*, los que les confiere los mayores valores de importancia (Cuadro 5). No obstante, *Cologania broussonetii* es la especie dominante con un valor de importancia de 14.31% que es apenas 1.99% mayor que *Phaseolus coccineus* con un VI igual a 12.32%.

Una las especies con mayor densidad es *Nissolia fruticosa* que se encuentra en tercer lugar después de *C. broussonetii*, sin embargo sus valores de frecuencia y cobertura son bajos, por lo que no se considera una especie dominante.

La Especie 1 presenta alto porcentaje de frecuencia, sin embargo no se identificó ya que no se encontró con flor durante los muestreos.

**Cuadro 5.** Valores de densidad, frecuencia, cobertura y valor de importancia de las trepadoras en la Cañada San Juan.

Especie	Índice de densidad lineal	Densidad relativa (%)	Frecuencia	Frecuencia relativa (%)	Índice de cobertura lineal	Cobertura relativa (%)	Valor de importancia (%)
<i>Canavalia villosa</i>	0.008	0.97	0.167	3.85	0.16	0.86	1.89
<b><i>Cologania broussonetii</i></b>	<b>0.163</b>	<b>18.93</b>	<b>0.5</b>	<b>11.54</b>	<b>2.29</b>	<b>12.45</b>	<b>14.31</b>
<i>Dioscorea longituba</i>	0.021	2.43	0.333	7.69	0.96	5.23	5.12
<i>Dioscorea oreodoxa</i>	0.058	6.80	0.333	7.69	0.61	3.34	5.94
<i>Metastelma angustifolia</i>	0.008	0.97	0.167	3.85	0.44	2.38	2.40
<i>Nissolia fruticosa</i>	0.092	<b>10.68</b>	0.333	7.69	0.82	4.45	7.61
<i>Nissolia microptera</i>	0.029	3.40	0.167	3.85	0.34	1.86	3.04
<b><i>Phaseolus coccineus</i></b>	<b>0.083</b>	<b>9.71</b>	<b>0.583</b>	<b>13.46</b>	<b>2.53</b>	<b>13.78</b>	<b>12.32</b>
<b><i>Plumbago pulchella</i></b>	<b>0.133</b>	<b>15.53</b>	<b>0.167</b>	<b>3.85</b>	<b>2.47</b>	<b>13.47</b>	<b>10.95</b>
<i>Rubus adenotrichos</i>	0.021	2.43	0.25	5.77	1.36	7.40	5.20
<i>Schizocarpum filiforme</i>	0.029	3.40	0.167	3.85	0.62	3.36	3.53
<i>Serjania racemosa</i>	0.067	7.77	0.417	9.62	1.85	10.06	9.15
<i>Toxicodendron radicans</i>	0.083	9.71	0.167	3.85	1.99	10.85	8.14
<i>Vigna lozanii</i>	0.004	0.49	0.083	1.92	0.03	0.18	0.86
Especie 1	0.058	6.80	0.5	<b>11.54</b>	1.89	10.31	9.55

## Análisis cuantitativo de la vegetación de la Cañada San Miguel

Para el análisis cuantitativo del estrato arbóreo de la Cañada San Miguel se identificaron 10 especies (Cuadro 6), con una abundancia de 71 individuos, la altura promedio es de 8.9 m con algunas eminencias de hasta 20 metros como *Ficus velutina*, *Juniperus flaccida* y *Lysiloma acapulcense*. Las especies con mayor relevancia para este estrato son *Juniperus flaccida*, *Lysiloma acapulcense* y *Euphorbia calyculata*, que conjugan los valores más altos en densidad, frecuencia y cobertura, lo que además les confiere los mayores valores de importancia. Cabe mencionar que *Juniperus flaccida* es la dominante del dosel con un valor de importancia de 32.28%, seguida por *Lysiloma acapulcense* con el 30.78%.

**Cuadro 6.** Valores de densidad, frecuencia, cobertura y valor de importancia para el estrato arbóreo de la Cañada San Miguel.

Especie	Índice de densidad lineal	Densidad relativa (%)	Frecuencia	Frecuencia relativa (%)	Índice de cobertura lineal	Cobertura relativa (%)	Valor de importancia (%)
<i>Bursera bipinnata</i>	0.004	1.41	0.08	2.63	1.46	1.42	1.82
<i>Diphysa puberulenta</i>	0.025	8.45	0.17	5.26	5.60	5.47	6.39
<b><i>Euphorbia calyculata</i></b>	0.038	<b>12.68</b>	0.33	<b>10.53</b>	14.08	<b>13.75</b>	<b>12.32</b>
<i>Ficus velutina</i>	0.008	2.82	0.17	5.26	3.50	3.42	3.83
<i>Helicocarpus terebinthinaceus</i>	0.013	4.23	0.17	5.26	2.21	2.16	3.88
<i>Ipomoea murucoides</i>	0.013	4.23	0.25	7.89	1.54	1.50	4.54
<b><i>Juniperus flaccida</i></b>	0.088	<b>29.58</b>	0.83	<b>26.32</b>	41.96	<b>40.95</b>	<b>32.28</b>
<i>Licania</i> sp.	0.008	2.82	0.08	2.63	1.17	1.14	2.20
<b><i>Lysiloma acapulcense</i></b>	0.096	<b>32.39</b>	1.00	<b>31.58</b>	29.06	<b>28.37</b>	<b>30.78</b>
Especie 1	0.004	1.41	0.08	2.63	1.88	1.83	1.96

En la Cañada San Miguel se encontraron 20 especies de arbustos, con 119 individuos. Las especies que destacan son *Verbesina serrata*, *Montanoa arborescens* y *Sinclairia glabra*, por poseer los mayores valores en densidad, frecuencia y cobertura (Cuadro 7). No obstante, *Verbesina serrata* es la especie

dominante en este estrato arbustivo con un valor de importancia 29.46% que es 2.95 veces mayor que el de *Montanoa arborescens*, especie que le sigue en valor de importancia (VI=10.14).

**Cuadro 7.** Valores de densidad, frecuencia, cobertura y valor de importancia para el estrato arbustivo de la Cañada San Miguel.

Espece	Índice de densidad lineal	Densidad relativa	Frecuencia	Frecuencia relativa	Índice de cobertura lineal	Cobertura relativa	Valor de importancia
<i>Acacia angustissima</i>	0.01	1.68	0.17	3.17	1.11	2.03	2.29
<i>Bouvardia multiflora</i>	0.03	6.72	0.25	4.76	2.22	4.06	5.18
<i>Bursera cuneata</i>	0.00	0.84	0.08	1.59	0.58	1.07	1.17
<i>Bursera glabrifolia</i>	0.00	0.84	0.08	1.59	0.63	1.14	1.19
<i>Cestrum lanatum</i>	0.02	3.36	0.33	6.35	2.97	5.43	5.05
<i>Erythrina breviflora</i>	0.00	0.84	0.08	1.59	0.83	1.52	1.32
<i>Eugenia sp.</i>	0.00	0.84	0.08	1.59	0.67	1.22	1.22
<i>Eupatorium aereolare</i>	0.01	2.52	0.08	1.59	1.38	2.52	2.21
<i>Lantana hispida</i>	0.02	3.36	0.17	3.17	0.61	1.12	2.55
<i>Malvaviscus arboreus</i>	0.02	3.36	0.33	6.35	0.58	1.07	3.59
<i>Mimosa albida</i>	0.03	6.72	0.25	4.76	1.25	2.30	4.59
<b><i>Montanoa arborescens</i></b>	<b>0.05</b>	<b>9.24</b>	<b>0.58</b>	<b>11.11</b>	<b>5.50</b>	<b>10.06</b>	<b>10.14</b>
<i>Pouzolzia occidentalis</i>	0.01	1.68	0.17	3.17	0.50	0.91	1.92
<i>Pouzolzia pringlei</i>	0.01	1.68	0.17	3.17	0.44	0.81	1.89
<i>Rivina humilis</i>	0.00	0.84	0.08	1.59	0.03	0.05	0.83
<b><i>Sinclairia glabra</i></b>	<b>0.04</b>	<b>7.56</b>	<b>0.42</b>	<b>7.94</b>	<b>5.08</b>	<b>9.30</b>	<b>8.27</b>
<b><i>Solanum cervantesii</i></b>	<b>0.03</b>	<b>6.72</b>	<b>0.50</b>	<b>9.52</b>	<b>7.06</b>	<b>12.92</b>	<b>9.72</b>
<b><i>Verbesina serrata</i></b>	<b>0.17</b>	<b>34.45</b>	<b>1.00</b>	<b>19.05</b>	<b>19.05</b>	<b>34.87</b>	<b>29.46</b>
<i>Vernonia salicifolia</i>	0.01	1.68	0.17	3.17	1.08	1.98	2.28
<i>Viguiera palmeri var. rzedowskii</i>	0.03	5.04	0.25	4.76	3.06	5.60	5.14

En el estrato herbáceo de la Cañada San Miguel se registró un total de 39 especies con 1342 individuos (Cuadro 8). Aquí destacan *Oplismenus burmannii*, *Lasiacis nigra*, *Salvia mexicana* var. *mexicana* y *Adiantum concinnum*, estas especies conjugan los valores más altos de densidad, frecuencia y cobertura, lo que les atribuye los mayores valores de importancia. Cabe destacar que *Oplismenus burmannii* es el amplio dominante del estrato inferior con un valor de importancia de 34.75%, que es 3.68 veces mayor que el de *Lasiacis nigra* la cual tiene el VI de 9.42%, es decir que son pastos las plantas dominantes del sotobosque inferior de la selva baja caducifolia.

**Cuadro 8.** Valores de densidad, frecuencia, cobertura y valor de importancia para el estrato herbáceo de la Cañada San Miguel.

Especie	Índice de densidad lineal	Densidad relativa (%)	Frecuencia	Frecuencia relativa (%)	Índice de cobertura lineal	Cobertura relativa (%)	Valor de importancia (%)
<i>Achimenes grandiflora</i>	0.004	0.07	0.08	0.75	0.16	0.16	0.33
<i>Adiantum concinnum</i>	0.342	<b>6.11</b>	0.92	<b>8.21</b>	7.79	<b>7.9</b>	<b>7.41</b>
<i>Arisaema macrospathum</i>	0.013	0.22	0.17	1.49	0.32	0.32	0.68
<i>Begonia oaxacana</i>	0.004	0.07	0.08	0.75	0.35	0.35	0.39
<i>Bidens odorata</i>	0.004	0.07	0.08	0.75	0.10	0.11	0.31
<i>Blechnum glandulosum</i>	0.021	0.37	0.17	1.49	0.23	0.23	0.70
<i>Bommeria pedata</i>	0.088	1.56	0.50	4.48	0.04	0.04	2.03
<i>Commelina dianthifolia</i>	0.008	0.15	0.08	0.75	0.09	0.09	0.33
<i>Crusea calocephala</i>	0.021	0.37	0.17	1.49	0.13	0.14	0.67
<i>Cuphea paucipetala</i>	0.029	0.52	0.33	2.99	0.31	0.31	1.27
<i>Cuphea toluicana</i>	0.108	1.94	0.33	2.99	1.50	1.52	2.15
<i>Dhalia coccinea</i>	0.004	0.07	0.08	0.75	0.06	0.06	0.29
<i>Dryopteris cinnamomea</i>	0.075	1.34	0.33	2.99	1.57	1.59	1.97
<i>Dryopteris rossii</i>	0.142	2.53	0.33	2.99	4.04	4.10	3.2
<i>Eryngium comosum</i>	0.004	0.07	0.08	0.75	0.11	0.11	0.31
<i>Gibasis pellucida</i>	0.021	0.37	0.25	2.24	0.55	0.56	1.06
<i>Iresine diffusa</i>	0.042	0.75	0.25	2.24	1.86	1.89	1.62

<i>Lasiacis nigra</i>	0.263	<b>4.69</b>	0.75	<b>6.72</b>	16.60	<b>16.84</b>	<b>9.42</b>
<i>Loeselia glandulosa</i>	0.063	1.12	0.50	4.48	1.12	1.14	2.24
<i>Oplismenus burmannii</i>	3.500	<b>62.59</b>	1.00	<b>8.96</b>	32.24	<b>32.71</b>	<b>34.75</b>
<i>Opuntia aff. velutina</i>	0.008	0.15	0.17	1.49	0.08	0.08	0.57
<i>Pellaea sagittata</i>	0.025	0.45	0.25	2.24	0.36	0.37	1.02
<i>Pleopeltis macrocarpa var. tricophora</i>	0.004	0.07	0.08	0.75	0.12	0.12	0.31
<i>Salvia mexicana</i> var. <i>mexicana</i>	0.254	4.55	0.58	5.22	12.85	<b>13.03</b>	<b>7.6</b>
<i>Salvia purpurea</i>	0.163	2.91	0.75	6.72	4.71	4.78	4.80
<i>Salvia sessei</i>	0.021	0.37	0.25	2.24	3.24	3.29	1.97
<i>Selaginella palescens</i>	0.138	2.46	0.67	5.97	2.30	2.33	3.59
<i>Sida acuta</i>	0.029	0.52	0.25	2.24	0.97	0.98	1.25
<i>Sida glabra</i>	0.042	0.75	0.17	1.49	1.03	1.05	1.10
<i>Solanum bulbocastanum</i>	0.067	1.19	0.58	5.22	1.35	1.37	2.60
<i>Solenophora chiapensis</i>	0.004	0.07	0.08	0.75	0.08	0.08	0.30
<i>Spananthe paniculata</i>	0.021	0.37	0.17	1.49	0.55	0.56	0.81
<i>Spermacoce confusa</i>	0.004	0.07	0.08	0.75	0.04	0.04	0.29
<i>Tagetes lucida</i>	0.017	0.30	0.08	0.75	0.21	0.21	0.42
<i>Thyrsanthemum goldianum</i>	0.004	0.07	0.08	0.75	0.14	0.14	0.32
<i>Tripsacum sp.</i>	0.017	0.30	0.08	0.75	0.97	0.98	0.67
<i>Vernonia capreifolia</i>	0.004	0.07	0.08	0.75	0.17	0.17	0.33
Especie 1	0.004	0.07	0.08	0.75	0.08	0.08	0.30
Plántula	0.013	0.22	0.17	1.49	0.15	0.16	0.62

Para las trepadoras de la Cañada San Miguel se registró un total de 14 especies con 143 individuos (Cuadro 9). De estas destacan *Cologania broussonetii*, *Euphorbia ocymoidea*, *Phaseolus coccineus*, *Schizocarpum filiforme* y *Canavalia villosa* por tener los valores más altos en densidad, frecuencia y cobertura. No obstante, son dos especies las que sobresalen por tener los mayores valores de importancia, son *Phaseolus coccineus* con el 17.5%, seguida por *Cologania broussonetii* con VI = 16.46%, por lo tanto son estas las especies dominantes de esta forma de vida en dicha barranca.

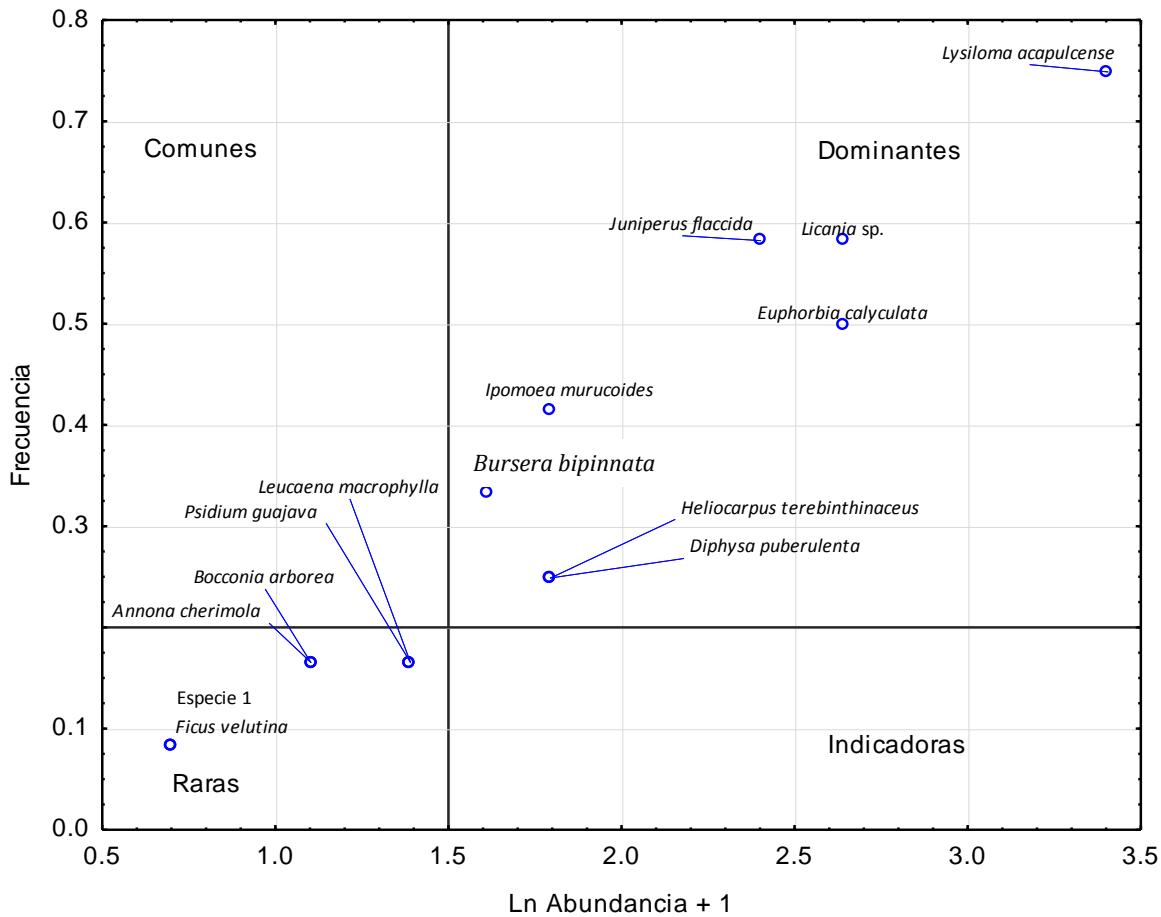
**Cuadro 9.** Trepadoras herbáceas presentes en la Cañada San Miguel.

Especie	Índice de densidad lineal	Densidad relativa (%)	Frecuencia	Frecuencia relativa (%)	Índice de cobertura lineal	Cobertura relativa (%)	Valor de importancia (%)
<i>Canavalia villosa</i>	0.04	6.29	0.33	<b>11.43</b>	0.85	<b>10.29</b>	<b>9.34</b>
<i>Cologania broussonetii</i>	0.21	<b>34.97</b>	0.33	<b>11.43</b>	0.25	2.99	<b>16.46</b>
<i>Dioscorea longituba</i>	0.02	2.80	0.25	8.57	0.27	3.30	4.89
<i>Dioscorea oreodoxa</i>	0.03	4.20	0.17	5.71	0.53	6.39	5.43
<i>Euphorbia ocymoidea</i>	0.04	<b>6.99</b>	0.17	5.71	0.94	<b>11.46</b>	<b>8.06</b>
<i>Metastelma angustifolia</i>	0.03	5.59	0.08	2.86	0.90	<b>10.90</b>	6.45
<i>Phaseolus coccineus</i>	0.07	<b>11.89</b>	0.50	<b>17.14</b>	1.93	<b>23.48</b>	<b>17.5</b>
<i>Plumbago pulchella</i>	0.04	6.99	0.08	2.86	0.55	6.74	5.53
<i>Ruellia lactea</i>	0.02	2.80	0.08	2.86	0.53	6.39	4.01
<i>Schizocarpum filiforme</i>	0.02	2.80	0.33	<b>11.43</b>	0.11	1.37	5.20
<i>Serjania racemosa</i>	0.03	4.20	0.17	5.71	0.32	3.85	4.59
<i>Toxicodendron radicans</i>	0.04	6.99	0.25	8.57	0.55	6.64	7.40
<i>Vigna lozanii</i>	0.01	2.10	0.08	2.86	0.42	5.07	3.34
Asclepiadaceae	0.01	1.40	0.08	2.86	0.09	1.12	1.79

#### Prueba de asociación de especies

##### Cañada San Juan

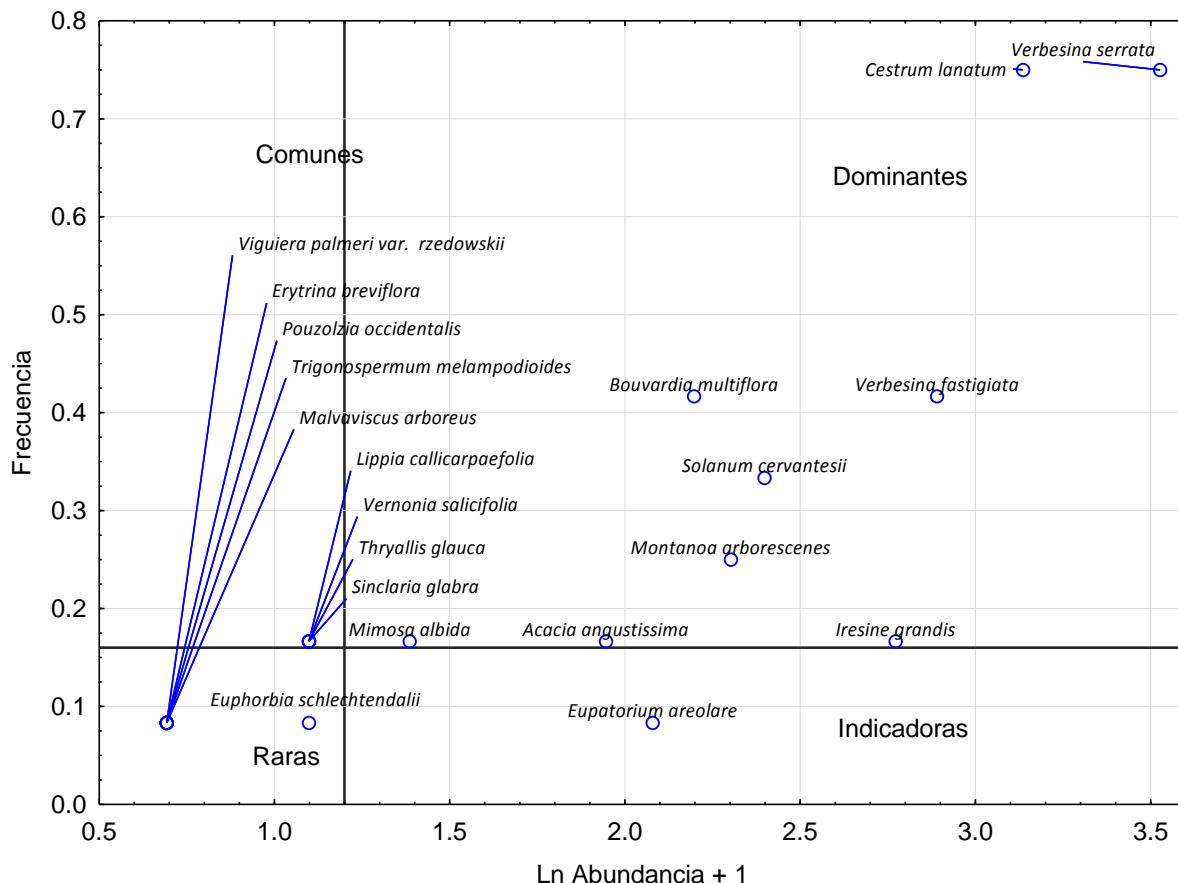
En la Cañada San Juan existen 8 especies de árboles dominantes como se observa en la figura 11. Las especies con mayor abundancia y mayor frecuencia son *Lysiloma acapulcense*, *Licania* sp. y *Juniperus flaccida*, cabe mencionar que son especies que cubren la mayor porcentaje del dosel dentro de la barranca. Existen especies raras por su baja frecuencia y baja abundancia como *Leucaena macrophylla*, cuya característica importante es que los retoños de esta especie son consumidos por los pobladores de Malinalco; *Annona cherimola* y *Psidium guajava* son utilizados para construcciones pequeñas.



**Figura 11.** Esquema de asociación por abundancia y frecuencia de árboles en la Cañada San Juan.

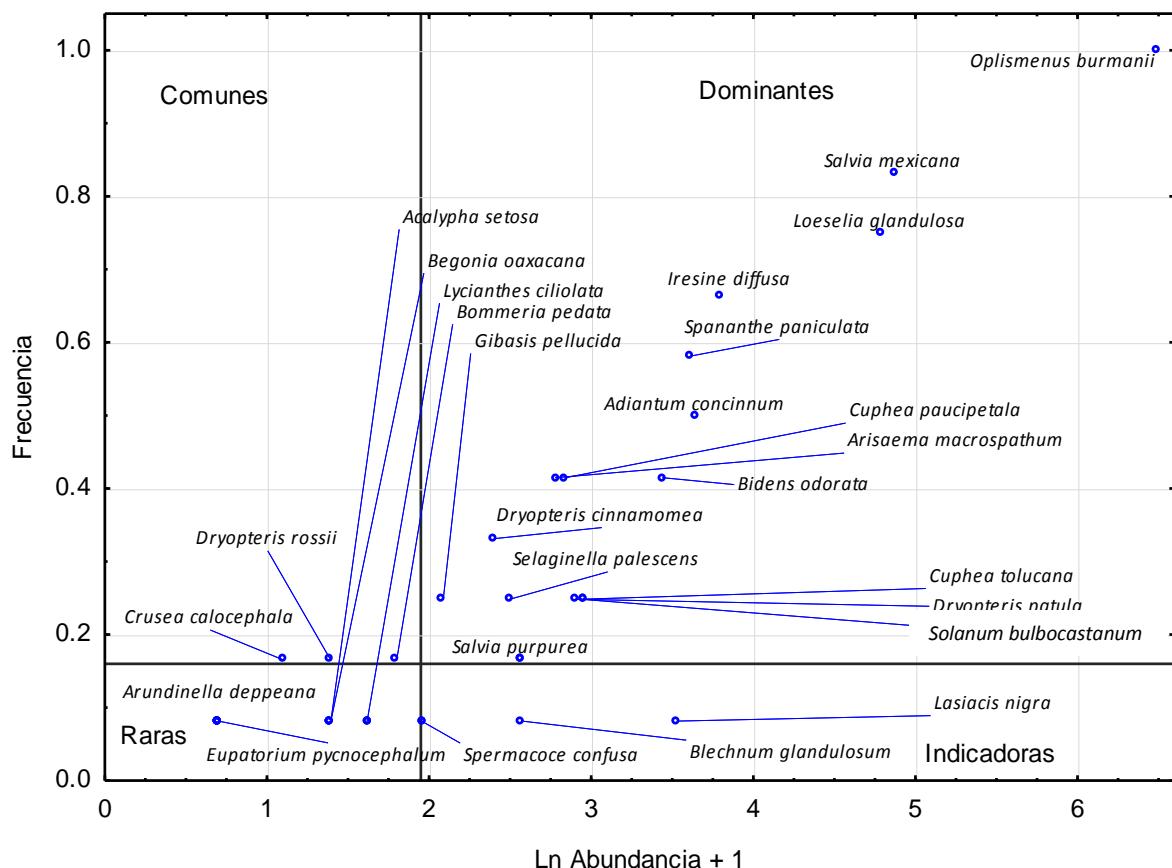
En el estrato arbustivo de la Cañada San Juan aparecen en la figura 12 especies que se consideran como dominantes por su alta abundancia y alta frecuencia son *Verbesina serrata* y *Cestrum lanatum*, además son especies consideradas como indicadoras de bosques perturbados ya que aparecen en espacios abiertos del dosel y cerca de caminos donde el suelo es más compacto.

En esta barranca las especies catalogadas como “Comunes” ciertamente se relacionan con lo observado en campo. Las especies como *Eupatorium areolare* en esta cañada funcionan como indicadoras ya que se encuentra preferentemente en zonas cerradas de la selva. En el caso de *Euphorbia schlechtendalii* es una planta difícil de localizar y se encuentra con mayor frecuencia en sitios abiertos o con poca cobertura del estrato superior, es decir del dosel.



**Figura 12.** Esquema de asociación de arbustos presentes en la Cañada San Juan.

El estrato de las herbáceas es el nivel de plantas de menor altura y es también el más abundante y frecuente, sobre todo en espacios abiertos dentro de la selva donde la luz llega al sustrato. En la Cañada San Juan aparece un grupo importante como plantas dominantes, en primer lugar se encuentra *Oplismenus burmanii*, después están *Salvia mexicana* var. *mexicana* y *Loeselia glandulosa*, y en menor proporción un grupo de plantas que aparecen en la figura 13. En el cuadrante de las “indicadoras” aparecen dos especies *Lasiacis nigra* y *Blechnum glandulosum* esto quiere decir que probablemente sólo aparecen en sitios con características ambientales específicas.

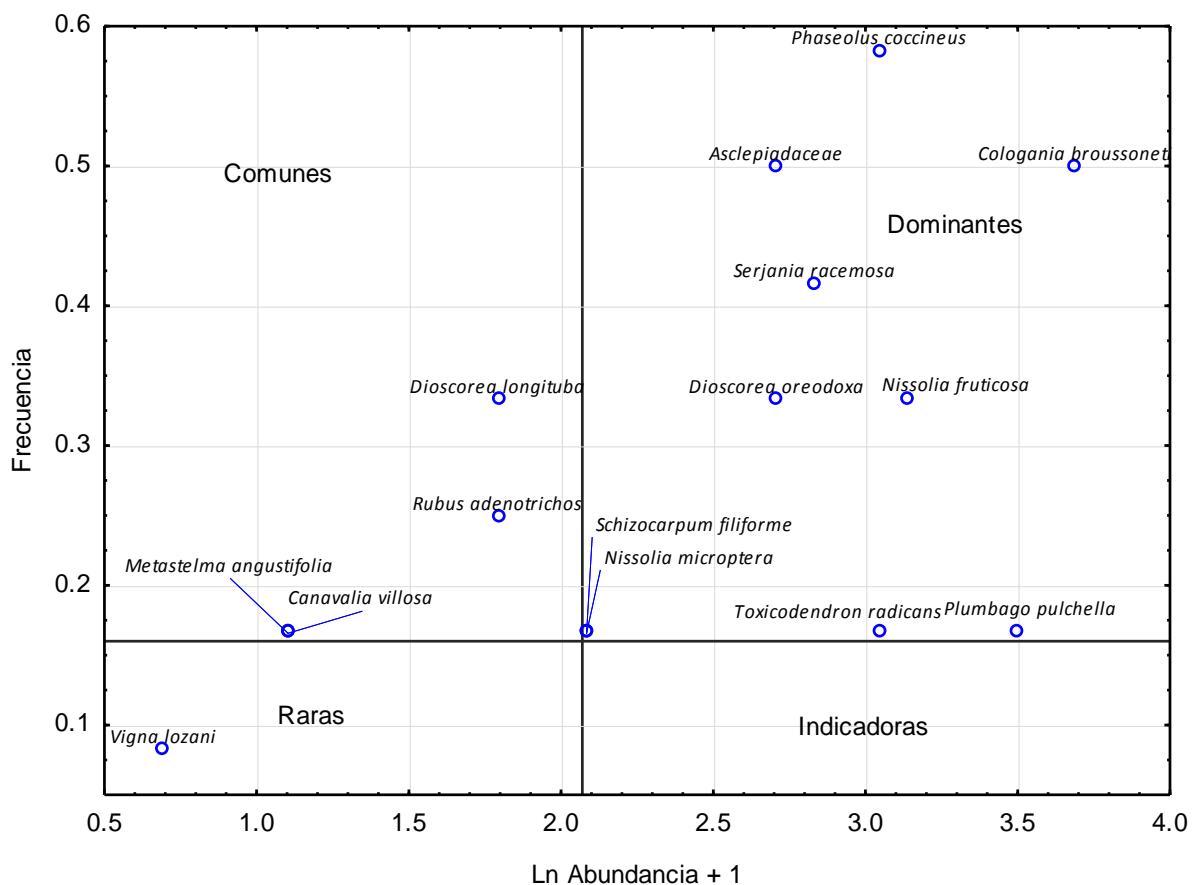


**Figura 13.** Esquema de asociación de las plantas herbáceas de la Cañada San Juan.

En la Cañada San Juan se encontraron 15 especies de trapadoras en el muestreo por transecto y estas se representan en un esquema de asociación expuesto en la figura 14, donde se observan las especies dominantes representadas en principio por la más frecuente que es *Phaseolus coccineus* y la especie más abundante es *Cologania broussonetii*, en segundo lugar esta una Asclepiadaceae que es tan frecuente como *C. broussonetii*.

Otras especies dominantes por frecuencia y abundancia en esta forma de vida son *Serjania racemosa*, *Nissolia fruticosa* junto con *Plumbago pulchella* y *Toxicodendron radicans* son plantas que aparecen cerca de caminos o sitios de paso donde la perturbación por el hombre o ganado es más constante, mientras

que *Dioscorea oreodoxa* es una especie endémica del estado de México y aparece en sitios con vegetación más densa o un poco más cerrada. En el caso de *Schizocarpum filiforme* y *Nissolia microptera* están en el límite para ser consideradas como dominantes con ser comunes.

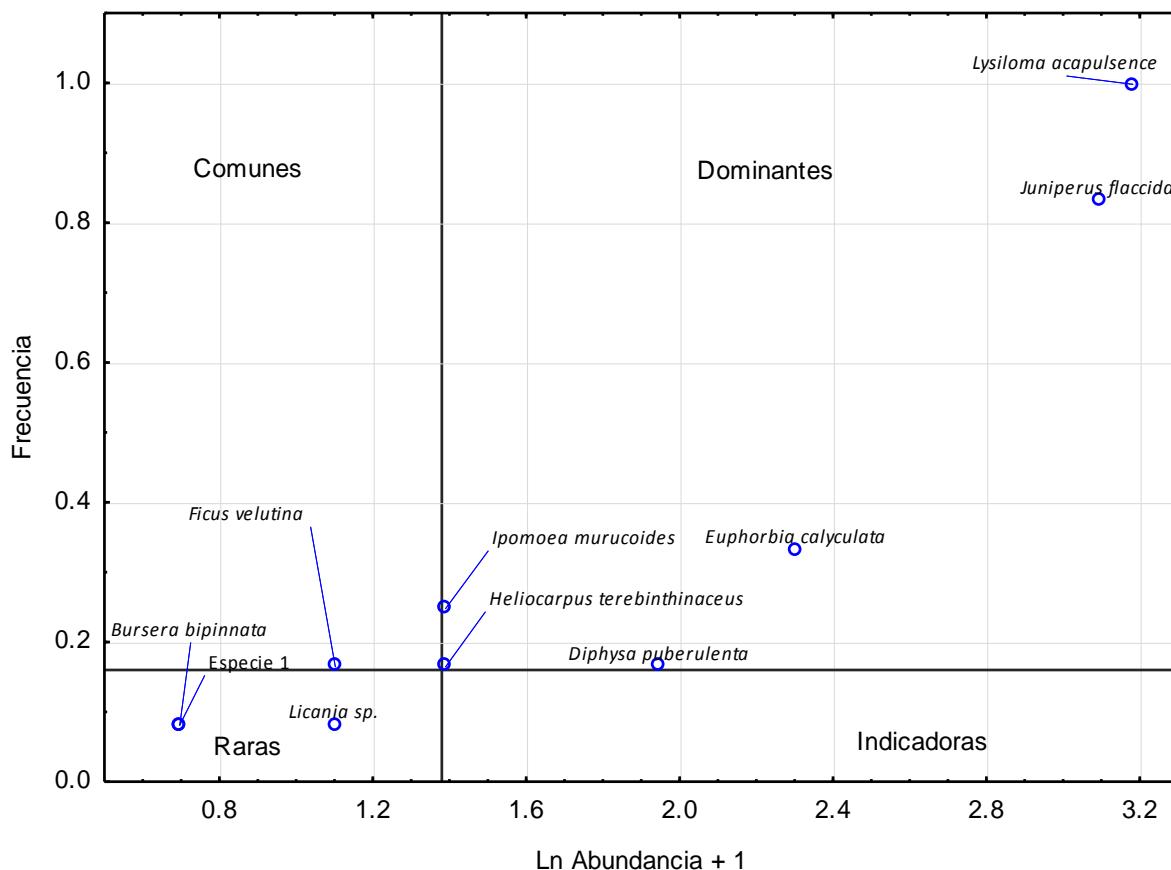


**Figura 14.** Esquema de la abundancia y frecuencia en las trepadoras de la Cañada San Juan.

Hay algunas plantas comunes en la Cañada San Juan por su baja frecuencia y baja abundancia como ***Rubus adenotrichus*** presente en copas de arbustos, además las ramas y tallos hacen más complejo el dosel, ya que conecta árboles con arbustos y en algunos casos con herbáceas, esto también reduce el espacio entre especies. Solo hay una especie con la categoría de rara, aunque es posible que se hayan medido en un momento en que su presencia aún no era evidente.

## Cañada San Miguel

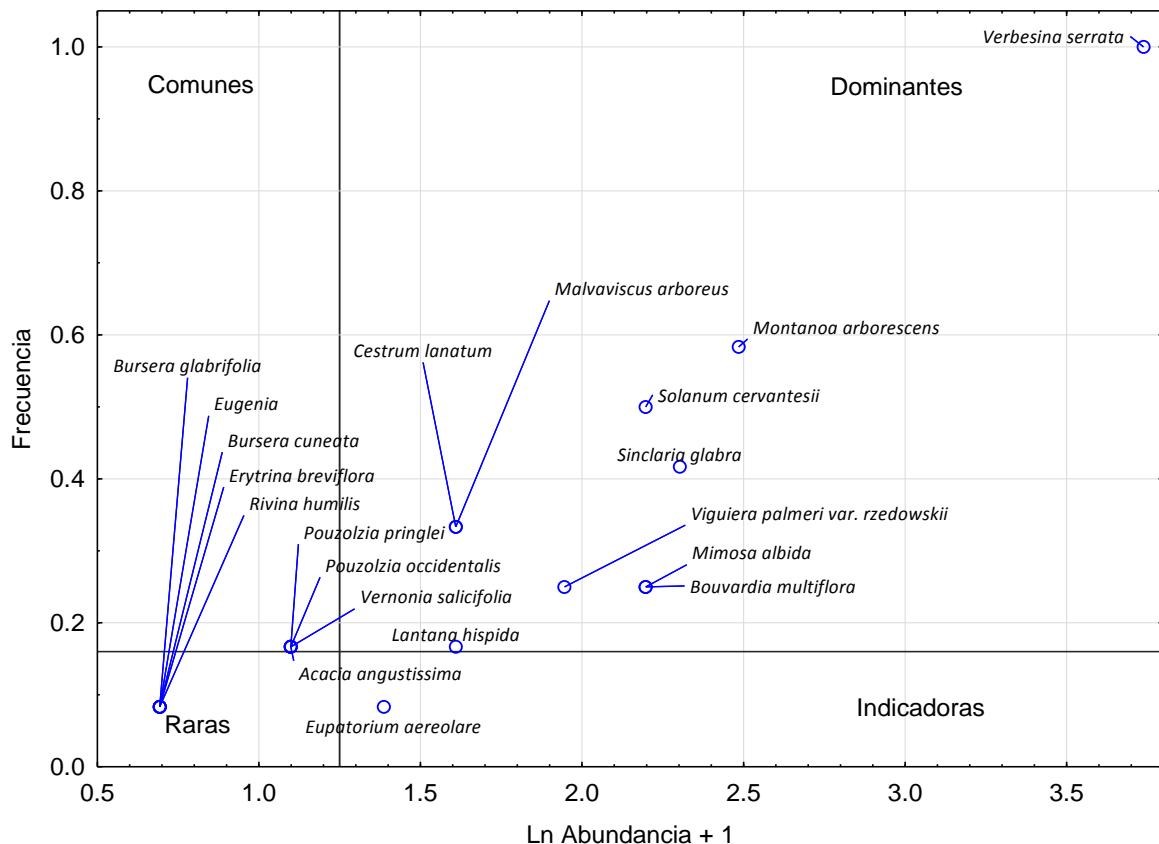
De acuerdo con la prueba de Olmsted-Tukey de las especies de árboles muestreadas en la Cañada San Miguel se encontró que *Lysiloma acapulcense* y *Juniperus flaccida* son las especies dominantes del dosel (figura 15). Otro elemento importante dominante de la selva baja caducifolia es *Euphorbia calyculata*. Es común encontrar a *Ficus velutina*. Y raro localizar organismos de *Licania sp.* y *Bursera bipinnata* en la barranca San Miguel. Aparentemente no existen especies indicadoras en este sitio.



**Figura 15.** Esquema de asociación entre especies de árboles según su abundancia y frecuencia en la Cañada San Miguel.

En el estrato arbustivo de la Cañada San Miguel aparece *Verbesina serrata* como la especie dominante por su alta abundancia y alta frecuencia, junto con *Montanoa arborescens* se consideran como especies de vegetación secundaria; otras especies como *Solanum cervantesii*, *Bouvardia multiflora* y *Mimosa albida*, son especies del bosque tropical caducifolio como se observa en la figura 16.

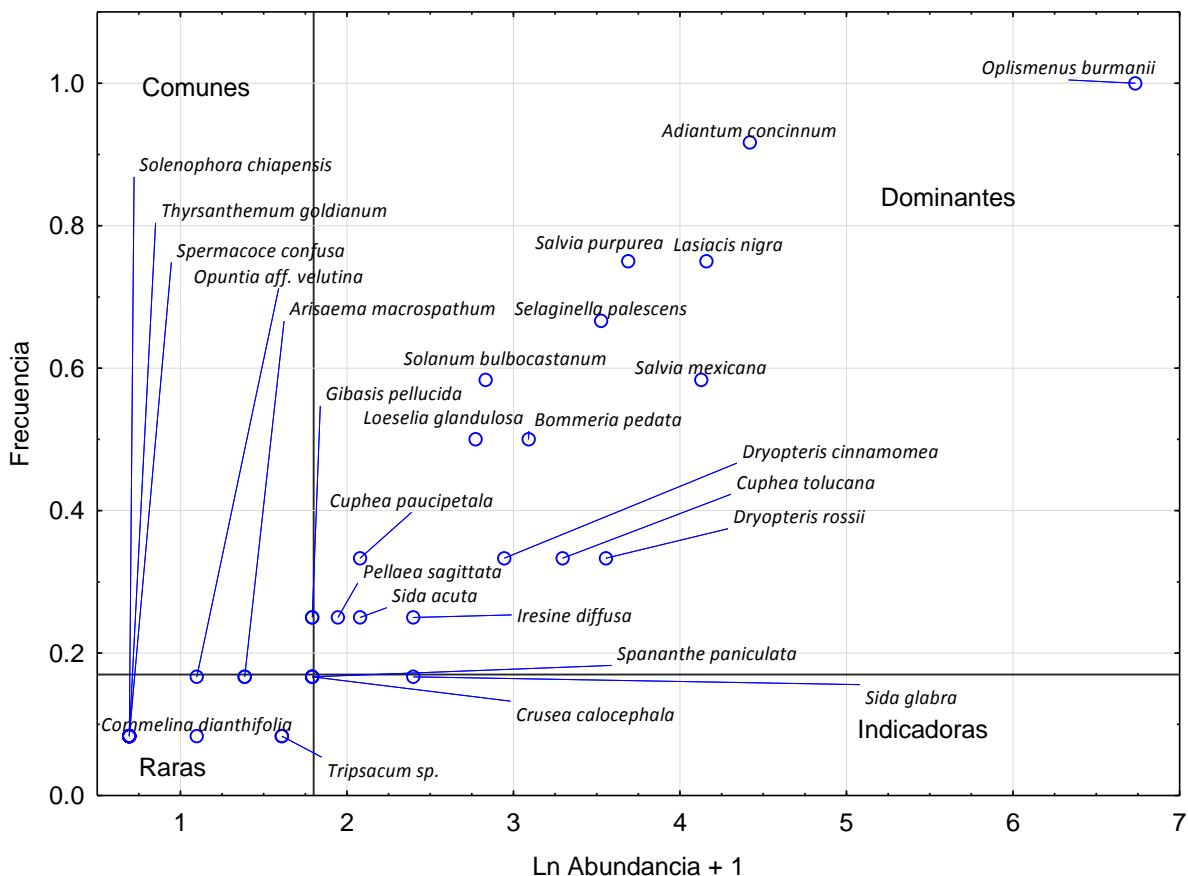
La mayor parte de especies registradas tienen la categoría de “Comunes” o “Raras”, sin embargo existe un pequeño grupo de plantas que se encuentran en el límite de estos dos cuadrantes. En campo especies como *Pouzolzia pringlei* y *Pouzolzia occidentalis* se observaron pocas veces. Por otra parte el caso de *Eugenia* sp. es particularmente interesante puesto que sólo se registró 1 individuo en el muestreo cuantitativo.



**Figura 16.** Esquema de asociación del estrato arbustivo de la Cañada San Miguel.

El contingente de herbáceas en la Cañada San Miguel se encuentra dominado por *Oplismenus burmannii* y *Adiantum concinnum*, sin embargo como se observa en la figura 16 en el cuadrante de las dominantes se encuentran 5 especies de helechos, contando el antes mencionado; también se encuentran especies indicadoras de perturbación con alta frecuencia y alta abundancia como *Iresine diffusa* y *Sida acuta*.

En el cuadrante de las plantas raras aparecen casos como *Solenophora chiapensis*, *Thysanthemum goldianum*, *Spermacoce confusa* y *Opuntia aff. velutina*, que se contabilizaron en el mínimo de ocasiones y sus poblaciones son pequeñas puesto que la abundancia es baja. El caso de *Tripsacum sp.* con baja frecuencia, se le encontró en sitios bien iluminados y con poca cobertura de arbustos así como en suelos someros.



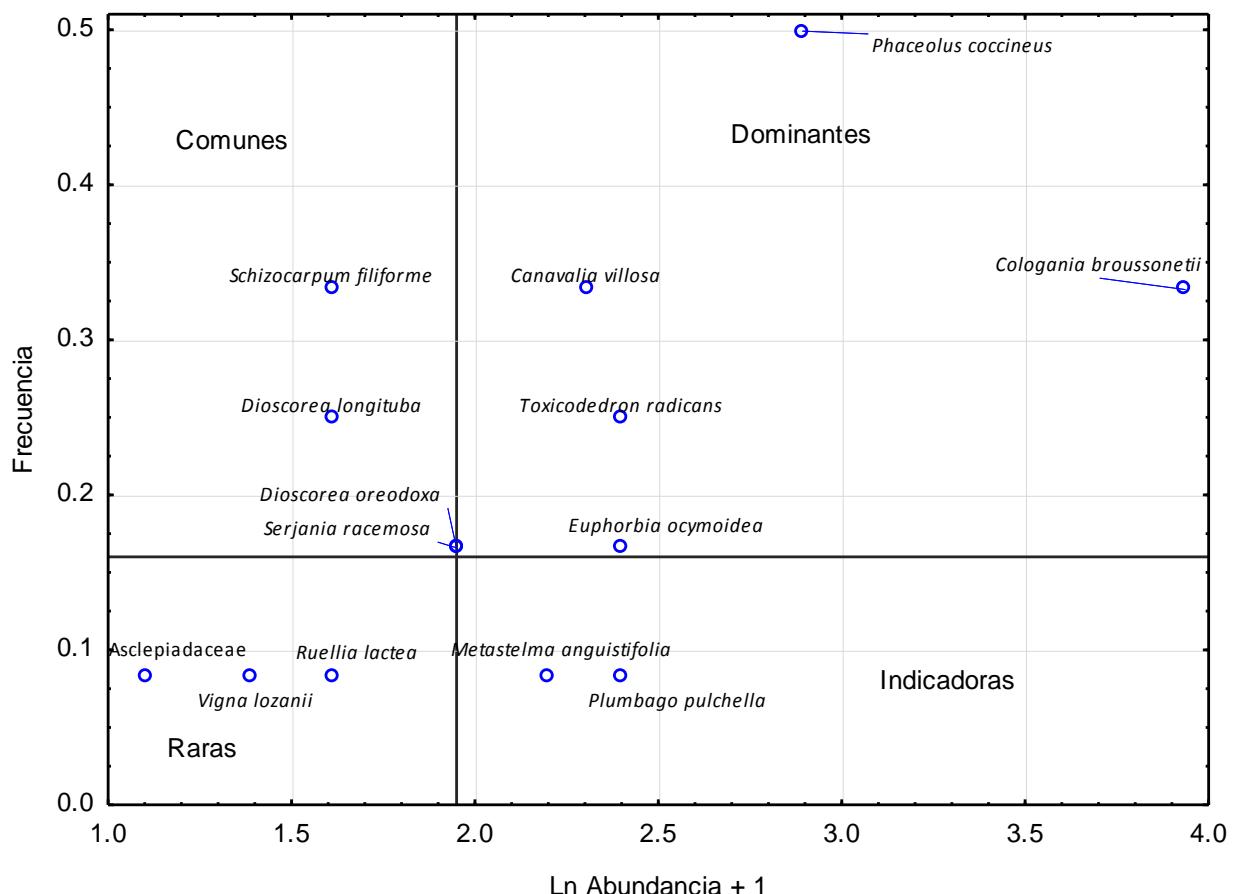
**Figura 17.** Esquema de asociación de las herbáceas de la Cañada San Miguel, Malinalco.

Otro forma biológica importante son las trepadoras que no constituyen un estrato como tal, sin embargo su presencia puede determinar la complejidad de la estructura de la vegetación. En esta forma de crecimiento existe la dominancia de ciertas especies por su rápido crecimiento, por sus bajos requerimientos ambientales o por su desarrollo rápido, no obstante esta es una forma de vida que puede tener un tiempo de vida parcialmente corto y no siempre es posible encontrar ejemplares con flores, hojas o frutos en la misma época del año. La abundancia y frecuencia de estas puede cambiar dependiendo de la zona donde se encuentran, aunado a ello es difícil contabilizar a los individuos, ya que en algunos casos no es simple determinar donde inicia y termina un sujeto.

La Cañada San Miguel presenta especies de trepadoras de porte herbáceo que son las dominantes del espacio, por frecuencia y/o por abundancia, como se observa en la figura 18 con *Phaseolus coccineus* y *Cologania broussonetii*, las dos especies dominantes del espacio en esta barranca, es común encontrarlas en el estrato arbustivo y herbáceo, lo que proporciona mayor complejidad en la estructura del sotobosque. En el caso de *Canavalia villosa*, es una trepadora leñosa que crece preferentemente en las copas de arbustos y árboles, sirve como conector entre copas sobre todo en sitios cerrados en el dosel.

En la Cañada San Miguel hay plantas consideradas como comunes, por su alta frecuencia y baja abundancia como *Schizocarpum filiforme*, *Dioscorea longituba* que son especies que crecen sobre arbustos y en algunos casos como *Dioscorea oreodoxa* y *Serjania racemosa*, crecen mejor en condiciones con mayor iluminación y a nivel de herbáceas y arbustos.

Como plantas indicadoras de la Cañada San Miguel están *Metastelma angustifolia* y *Plumbago pulchella*, la primera especie es común encontrarla sobre arbustos y árboles bajos, mientras que la segunda crece a nivel de sustrato y sobre herbáceas. Entre las especies “raras” están *Ruellia lactea*, *Vigna lozanii* y una Asclepiadaceae que se desarrollan preferentemente en arbustos.



**Figura 18.** Esquema de asociación de las trepadoras de la Cañada San Miguel, Malinalco.

#### Prueba de similitud de diversidad

El total de árboles diferentes es de 14, sin embargo ambas cañadas sólo comparten 10 de ellas. Y las cuatro que no comparten son *Annona cherimola*, *Bocconia arborea*, *Leucaena macrophylla* y *Psidium guajava*, que aparecen en el cuadro 10. El cálculo del Coeficiente de Jaccard registró un valor del 0.71 y el Coeficiente de Sørensen 0.83, estos valores indican que comparten un alto porcentaje de especies arbóreas. El resultado del índice de Morisita para árboles es de 0.86, lo que habla de una diversidad muy similar entre las comunidades de ambas barrancas.

**Cuadro 10.** Comparación de especies para pruebas de similitud de comunidades en el estrato arbóreo.

Especie	San Juan	San Miguel
<i>Annona cherimola</i>	2	0
<i>Bocconia arborea</i>	2	0
<i>Bursera bipinnata</i>	4	1
<i>Diphysa puberulenta</i>	5	6
<i>Euphorbia callyculata</i>	13	9
<i>Ficus velutina</i>	1	2
<i>Heliocarpus terebinthinaceus</i>	5	3
<i>Ipomoea mururoides</i>	5	3
<i>Juniperus flaccida</i>	10	21
<i>Licania</i> sp.	13	2
<i>Leucaena macrophylla</i>	3	0
<i>Lysiloma acapulcense</i>	29	23
<i>Psidium guajava</i>	3	0
Especie 1	1	1

En el estrato arbustivo de las Cañadas San Juan y San Miguel se registró una riqueza de 26 especies diferentes que se muestran en la cuadro 11, de las cuales comparten 14 especies. Para el Coeficiente de Jaccard se obtuvo un valor de 0.74 y para el Coeficiente de Sørensen el 0.85, estos valores indican que ambas cañadas comparte un alto número de especies. Con el índice de Morisita se calculó la similitud entre cañadas y se obtuvo un valor de 0.79, por lo tanto se trata de dos comunidades de arbustos con un alto porcentaje de similitud, es decir que el contingente florístico arbustivo es similar en los sitios de estudio.

**Cuadro 11.** Lista de abundancias de los arbustos presentes en las Cañadas San Juan y San Miguel.

Especie	San Juan	San Miguel
<i>Acacia angustissima</i>	6	2
<i>Bouvardia multiflora</i>	8	8
<i>Bursera cuneata</i>	0	1
<i>Bursera glabrifolia</i>	0	1
<i>Cestrum lanatum</i>	22	4
<i>Erythrina breviflora</i>	1	1
<i>Eugenia sp.</i>	0	1
<i>Eupatorium areolare</i>	7	3
<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	2	0
<i>Iresine grandis</i>	15	0
<i>Lantana hispida</i>	0	4
<i>Lippia callicarpifolia</i>	2	0
<i>Malvaviscus arboreus</i>	1	4
<i>Mimosa albida</i>	3	8
<i>Montanoa arborescens</i>	9	11
<i>Pouzolzia occidentalis</i>	1	2
<i>Pouzolzia pringlei</i>	0	2
<i>Rivina humilis</i>	0	1
<i>Sinclairia glabra</i>	2	9
<i>Solanum cervantesii</i>	10	8
<i>Thryallis glauca</i>	2	0
<i>Trigonospermum melampodioides</i>	1	0
<i>Verbesina greenmanii</i>	17	0
<i>Verbesina serrata</i>	33	41
<i>Vernonia salicifolia</i>	2	2
<i>Viguiera palmeri</i> var. <i>rzedowskii</i>	1	6

En el estrato herbáceo de las Cañadas San Juan y San Miguel se contaron un total de 52 especies diferentes que se muestran en la cuadro 12, y comparten un total de 26 especies que se muestran en la tabla 10, para obtener el Coeficiente de Jaccard con un valor de 0.49 o 49% y el Coeficiente de Sørensen con el 0.65 o 65%, por lo tanto se trata de dos comunidades muy similares en la

riqueza de especies diferentes. Con el índice de Morisita se calcula la similitud de diversidad entre cañadas y se obtuvo un valor de 0.97, indica que se trata de dos comunidades casi idénticas en la composición florística.

**Cuadro 12.** Lista de especies herbáceas y sus abundancias de las Cañadas San Juan y San Miguel.

Espece	San Juan	San Miguel
<i>Acalypha setosa</i>	3	0
<i>Acalypha sp.</i>	1	0
<i>Achimenes grandiflora</i>	0	1
<i>Adiantum concinnum</i>	37	82
<i>Ageratum corymbosum</i>	1	0
<i>Arisaema macrospathum</i>	15	3
<i>Arundinella deppeana</i>	1	0
<i>Begonia oaxacana</i>	3	1
<i>Bidens odorata</i>	30	1
<i>Blechnum glandulosum</i>	12	5
<i>Bommeria pedata</i>	5	21
<i>Capsicum annuum</i>	1	0
<i>Commelina dianthifolia</i>	0	2
<i>Commelina diffusa</i>	6	0
<i>Crusea calocephala</i>	2	5
<i>Cuphea peucipetala</i>	16	7
<i>Cuphea toluicana</i>	17	26
<i>Dhalia coccinea</i>	0	1
<i>Dryopteris cinnamomea</i>	10	18
<i>Dryopteris patula</i>	18	0
<i>Dryopteris rossii</i>	3	34
<i>Eryngium comosum</i>	0	1
<i>Eupatorium pycnocephalum</i>	1	0
<i>Gibasis pellucida</i>	7	5
<i>Iresine diffusa</i>	43	10
<i>Lasiacis nigra</i>	33	63
<i>Loeselia glandulosa</i>	118	15

<i>Lycianthes ciliolata</i>	4	0
<i>Oplismenus burmannii</i>	652	840
<b><i>Opuntia aff. velutina</i></b>	0	2
<i>Pecluma ferruginea</i>	4	0
<b><i>Pellaea sagittata</i></b>	0	6
<b><i>Phytolacca icosandra</i></b>	3	0
<i>Pleopeltis macrocarpa</i> var. <i>tricophora</i>	3	1
<b><i>Ruselia chiapensis</i></b>	4	0
<i>Salvia mexicana</i>	128	61
<i>Salvia purpurea</i>	12	39
<i>Salvia sessei</i>	1	5
<i>Selaginella palescens</i>	11	33
<b><i>Sida acuta</i></b>	0	7
<b><i>Sida glabra</i></b>	0	10
<i>Solanum bolbocastanum</i>	18	16
<b><i>Solenophora chiapensis</i></b>	0	1
<i>Spananthe paniculata</i>	36	5
<i>Spermacoce confusa</i>	6	1
<b><i>Tagetes lucida</i></b>	0	4
<b><i>Thyrsanthemum goldianum</i></b>	0	1
<b><i>Tripsacum</i> sp.</b>	0	4
<b><i>Vernonia capreifolia</i></b>	0	1
Especie 1	1	1
<b>Especie 2</b>	1	0
Plántulas	12	3

Para conocer la similitud de trepadoras entre las Cañadas San Juan y San Miguel, se compararon las abundancias que se muestran en el cuadro 13, el Coeficiente de Jaccard mostró un valor de 0.70 ó 70% y el Coeficiente de Sørensen el 0.82 ó 82%, por lo tanto se trata de dos comunidades de trepadoras muy similares. Con el índice de Morisita se calculó la similitud de diversidad entre cañadas y se obtuvo un valor de 0.86, que indica que se trata de dos sitios con un alto porcentaje de similitud.

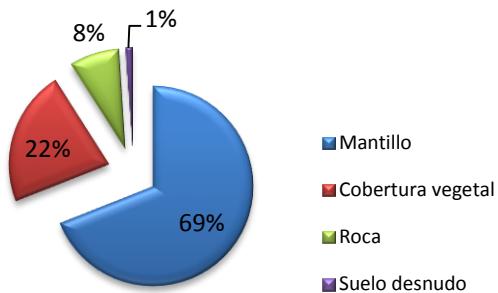
Este grupo de plantas de las 17 identificadas en el cuadro 13, las barrancas San Juan y San Miguel comparten 12 especies. *Euphorbia ocymoidea*, *Nissolia fruticosa*, *Nissolia microptera*, *Rubus adenotrichus* y *Ruellia lactea* son las especies que no se registraron en el muestreo, no obstante no se descarta la posibilidad de la presencia de estas especies en ambos sitios.

**Cuadro 13.** Abundancias de las especies de trepadoras presentes en las cañadas San Juan y San Miguel, Malinalco.

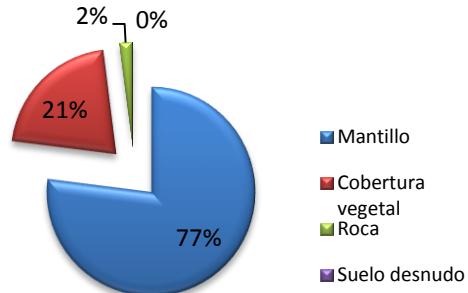
Especie	San Juan	San Miguel
<i>Canavalia villosa</i>	2	9
<i>Cologania broussoneti</i>	39	50
<i>Dioscorea longituba</i>	5	4
<i>Dioscorea oreodoxa</i>	14	6
<b><i>Euphorbia ocymoidea</i></b>	0	10
<i>Metastelma angustifolia</i>	2	8
<b><i>Nissolia fruticosa</i></b>	22	0
<i>Nissolia microptera</i>	7	0
<i>Phaseolus coccineus</i>	20	17
<i>Plumbago pulchella</i>	32	10
<b><i>Rubus adenotrichos</i></b>	5	0
<b><i>Ruellia lactea</i></b>	0	4
<i>Schizocarpum filiforme</i>	7	4
<i>Serjania racemosa</i>	16	6
<i>Toxicodendron radicans</i>	20	10
<i>Vigna lozanii</i>	1	3
Especie 1	14	2

## Condición superficial del suelo

En las Cañadas San Juan y San Miguel el recubrimiento por mantillo presenta el más alto porcentaje con 69% y 77 % respectivamente (ver figuras 19 y 20). La cobertura vegetal en ambas cañadas es muy similar.

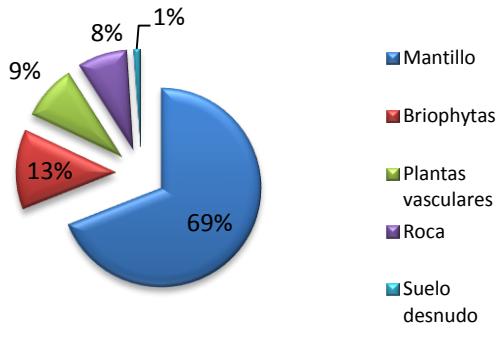


**Figura 19.** Porcentaje de cobertura superficial en la Cañada San Juan.

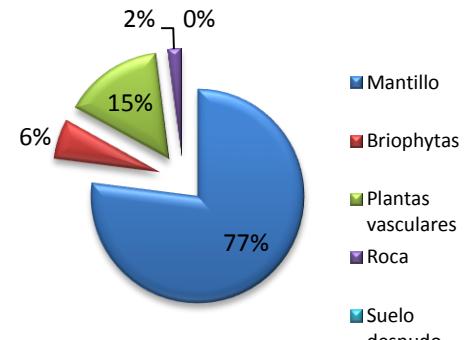


**Figura 20.** Porcentaje de cobertura superficial en la Cañada San Miguel.

En la cobertura vegetal se consideró a las plantas existentes que crecían a nivel de la superficie del suelo, que se dividieron en briofitas (*sensu lato*) y vasculares. Las briofitas cubren un mayor porcentaje del suelo en la Cañada San Juan (figura 21) y las plantas vasculares cubren un mayor porcentaje del suelo en la Cañada San Miguel (ver figura 22).

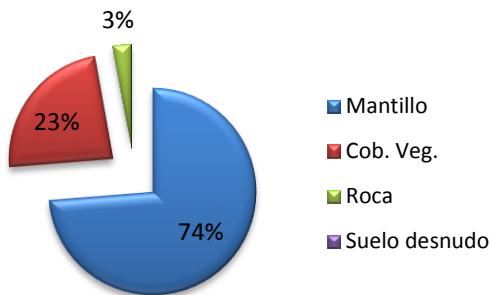


**Figura 21.** Porcentaje de cobertura superficial en la Cañada San Juan y que incluye el porcentaje de los tipos de cobertura vegetal.

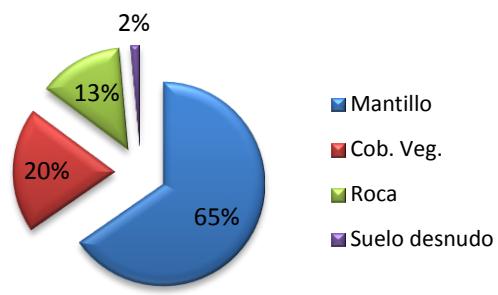


**Figura 22.** Porcentaje de cobertura superficial en la Cañada San Miguel y que incluye el porcentaje de los tipos de cobertura vegetal.

La condición superficial en las laderas de la Cañada San Juan, es similar ya que presenta valores en mantillo del 74% en la ladera sur y el 65% en la ladera norte. Se puede notar una pequeña diferencia en la roca expuesta, ya que en la ladera norte existe un 13% comparado con el 3% de la ladera sur (figuras 23 y 24).

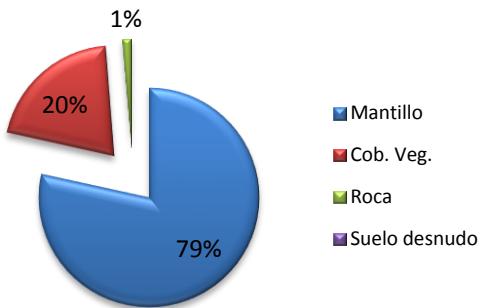


**Figura 23.** Condición superficial de la ladera Sur de la Cañada San Juan, Malinalco.

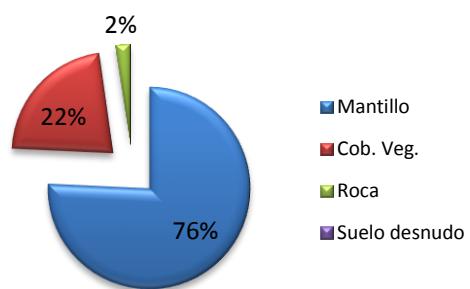


**Figura 24.** Condición superficial de la ladera Norte de la Cañada San Juan, Malinalco.

En la Cañada San Miguel los porcentajes de los materiales de recubrimiento son muy similares, tanto en matillo como en cobertura vegetal y roca para cada ladera (ver figuras 25 y 26).

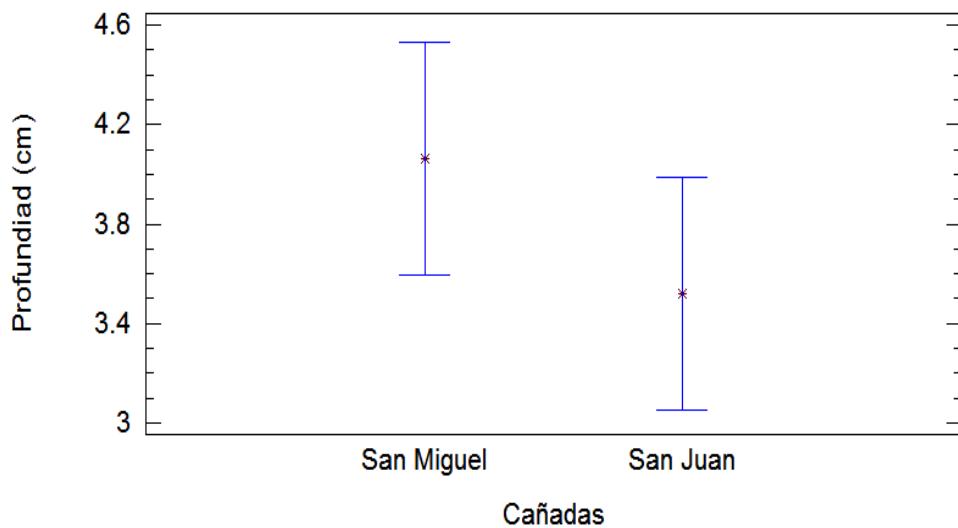


**Figura 25.** Porcentaje de la cobertura superficial en la ladera sur de la Cañada San Miguel.



**Figura 26.** Porcentaje de la cobertura superficial en la ladera Norte de la Cañada San Miguel.

En la profundidad de la hojarasca no se encuentran diferencias significativas entre una cañada y otra (figura 27).



**Figura 27.** Comparación de medias de la profundidad en centímetros de la hojarasca en las Cañadas San Miguel y San Juan.

#### *Zona de recarga hídrica*

La zona de estudio se digitalizó tomando en cuenta curvas de nivel (pendiente), cobertura vegetal (tipo de vegetación), clima (precipitación y temperatura), edafología, geología y uso de suelo. El resultado de la suma de todos estos datos se observan en la figura 24, cuyo mapa fue generado en el paquete ArcGis 9.0.

La zona urbana no se considera con potencial para la recarga hídrica debido a que los asentamientos humanos han promovido la eliminación de gran parte de la vegetación y cubierto el suelo con pavimentación o concreto.

Las áreas de potencial para la recarga hídrica se dividieron en cinco categorías en muy baja, baja, media, alta y muy alta. La primera clase

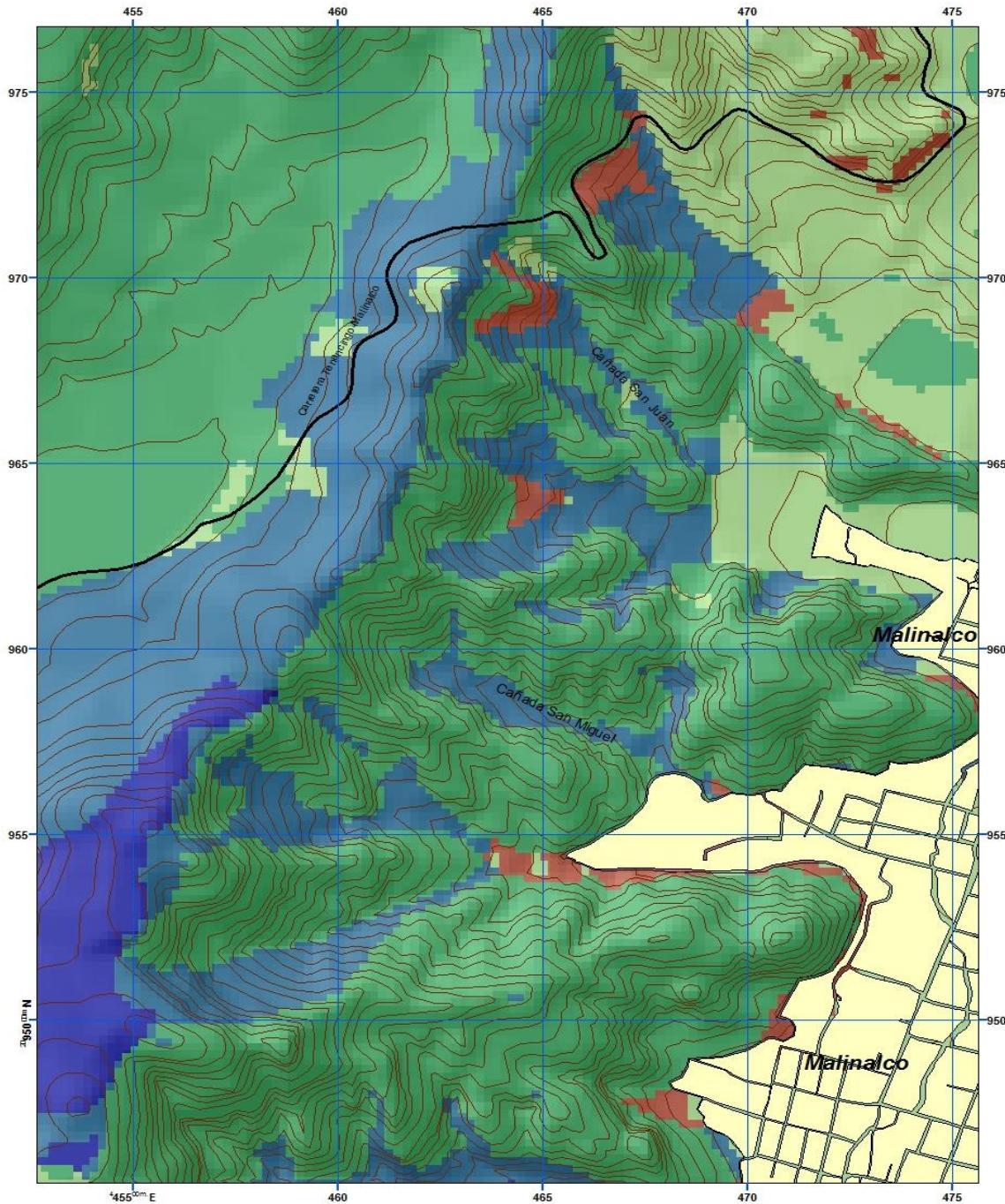
denominada como “muy baja” la constituyen las zonas con color rojo (ver figura 24) y representa sitios donde la infiltración de agua hacia capas profundas del subsuelo es poco probable como escarpes, zonas con pavimentación o suelo cubierto por concreto. Los sitios con bajo potencial son áreas de cultivo, donde la vegetación permanente es escasa y hay menor protección del suelo contra la erosión eólica e hídrica; por lo que la incidencia solar directa aumenta la evaporación de humedad del sustrato, provocando baja infiltración.

Las laderas, cimas de montañas y zonas de cultivo debido a su baja densidad vegetal, inclinación pronunciada y la perturbación presente por la extracción de leña o la actual vocación del terreno se considera que presentan de “medio” a “bajo” potencial para la recarga hídrica.

La vegetación de la zona montañosa en la cabecera municipal de Malinalco está determinada como vegetación secundaria y selva baja caducifolia , en laderas y cimas, existen espacios abiertos carentes de vegetación que aumentan la erosión y la evaporación del suelo, sin embargo esta condición permite el rápido escurrimiento de agua a zonas bajas y cóncavas como las cañadas, por lo tanto éstas resultan ser las áreas con alto potencial para la recarga hídrica con vegetación más cerrada y la protección brindada por las laderas, que disminuyen la incidencia solar como se observa en el mapa de áreas potenciales para la recarga hídrica (ver figura 28).

La zona con la categoría de “Muy alto” potencial para la recarga hídrica se encuentra en la parte sur en un bosque de pino-encino, sin embargo como se observa en el mapa de la figura 28 las cañadas de la zona montañosa del norte del municipio tienen “alto” potencial para la recarga de mantos freáticos.

Las Cañadas San Miguel y San Juan cuentan cada una con un manantial en la zona baja y ambos sirven para abastecer al centro y norte de la cabecera municipal, siendo dos de las fuentes más importantes para el suministro de agua potable para la población de Malinalco.



**Mapa de áreas potenciales para la recarga hídrica  
Composición florística y estructura de la vegetación en dos cañadas  
de recarga hídrica en Malinalco, Estado de México.**

**Simbología temática**

Muy alta	Media	Muy baja
Alta	Baja	

**Simbología básica**

Cañadas
Carretera pavimentada
Área urbanizada
Curvas de nivel



125 62.5 0 125 250 375 500  
Metros

**Figura 28.** Mapa de las áreas potenciales para la recarga hídrica en Malinalco, Estado de México.

## DISCUSIÓN

La vegetación presente en la zona de estudio se determinó como Selva Baja Caducifolia de acuerdo con la clasificación Miranda y Hernández X. en 1963 o Bosque Tropical Caducifolio según Rzedowski (1978). Los elementos florísticos presentes en este ecosistema de Malinalco presentan afinidad con la flora tropical. Esta selva está condicionada principalmente por el régimen de lluvias que se concentra en cuatro meses, principalmente en verano y el resto del año es prácticamente seco, esto es una de las principales razones por las cuales la vegetación pierde su follaje como lo describe Rzedowski en 1978.

Este estudio describe la composición florística de las Cañadas San Juan y San Miguel, aunado a ello se discute la estructura de la vegetación para entender las posibles relaciones que existen con la recarga hídrica de mantos freáticos y acuíferos en el subsuelo, dicha información da pie a generar acercamientos propuestas de conservación, mejoramiento y aprovechamiento de los recursos de manera responsable.

### *Composición florística*

Este es el primer estudio realizado sobre la flora y vegetación de las áreas naturales y de difícil acceso en el municipio de Malinalco. El resultado para la composición florística consta de 5 clases, 72 familias y 200 especies. La división Magnoliophyta es la mejor representada con el 88% de las especies del total identificadas, constituida por las clases Magnoliopsida (78%) y Liliopsida (10%), la clase que le sigue es Polypodiopsida (6%) y con menor porcentaje está Lycopodiopsida (2%) al tener como representante a *Selaginella pallescens*. Es importante mencionar que los porcentajes se obtuvieron con 198 especies, ya que en fechas posteriores se agregaron nuevas especies al listado.

Los resultados en el número de especies de este estudio es alto comparado con el estudio realizado por López-Sandoval y colaboradores (2010), que lo

realizaron en un área de 150 ha en la barranca Nenetzingo, Ixtapan de la Sal, mientras que los sitios de estudio de éste trabajo son de aproximadamente 3 ha.

Entre las 200 especies determinadas existen registros nuevos para el Estado de México como *Alophia veracruzana*, *Arundinella deppeana*, *Phoebe pallescens*, *Begonia oaxacana*, *Otopappus jaliscensis*, etc., lo cual hace evidente la necesidad de describir los recursos bióticos locales para su aprovechamiento. Existen ejemplares que no se determinaron a nivel de especie como es el caso de *Acalypha* sp., *Eugenia* sp., *Licania* sp., *Cyperus* sp. y *Galactia* sp.

Una especie importante dentro del ecosistema descrito es *Ficus velutina*, un árbol que se mantiene con follaje la mayor parte del año, además es fuente de alimento para mamíferos como Quirópteros y brinda refugio a muchos organismos las aves y mamíferos. En los sitios de muestreo se localizaron individuos muy similares cuya diferencia radica en la pubescencia del fruto, ya que uno es completamente velutino y otro es glabro. En la descripción para este árbol el fruto pubescente es característico, mientras que el fruto glabro se sale de la descripción, lo cual podría sugerir una variedad o subespecie o bien una nueva especie. Para esto se recomienda un análisis a fondo de los ejemplares.

Las familias mejor representadas a nivel de género y especie son Asteraceae con 26 especies y le sigue Fabaceae 21 especies (figura 4), esto concuerda con lo descrito por Rzedowski (1978) y Sousa y colaboradores (2001) para este tipo de vegetación, sin embargo para la zona de estudio es equiparable con lo reportado por Martínez de la Cruz (2010) en la flora ruderal de la Carretera Chalma-Malinalco. Las familias que les siguen por su riqueza en número de especies diferentes son Euphorbiaceae, Solanaceae, Asclepiadaceae, Commelinaceae, Malvaceae, Verbenaceae y Convolvulaceae, todas éstas cuentan con 4 especies diferentes. Estos resultados son similares a los reportados por Gómez-Roa (2013) para la selva baja caducifolia de las barrancas de Tonatico, Estado de México.

Las especies determinadas se clasificaron y agruparon según su estatus migratorio en México, agrupadas como nativas, introducidas y endémicas (figura 5). El grupo de las nativas es el más numeroso con 173 especies, sin embargo la riqueza de un sitio puede aumentar o disminuir con la introducción especies exóticas y en las cañadas se determinó un total de 6 especies con la categoría de introducidas.

Los endemismos en nuestro país, son el resultado de la evolución fisiográfica y la diversidad natural con distribución limitada como lo señaló Sarukhán y colaboradores en 2009. En las cañadas San Juan y San Miguel se determinaron 19 especies endémicas (Tabla 1), de las cuales *Perymenium reticulatum* y *Dioscorea oreodoxa* se encuentran reportadas para el Estado de México, *Bursera cuneata* para el centro-sur de México y *Alophia veracruzana* reportada sólo para el estado de Veracruz, siendo el primer reporte de esta especie para el Estado de México, la recolecta de esta última especie se realizó en la Cañada San Miguel.

De las 198 especies determinadas al día del análisis se agruparon según la forma biológica, las herbáceas con el 50% es el grupo más abundante en la época lluviosa del año, puede estar relacionado con el incremento de la humedad en la zona y se puede considerar que esta forma de vida desaparece en la época seca. Le siguen arbustos (17%); en el caso del estrato arbustivo todas las especies son caducifolias en la época seca del año y Rzedowski (1978) menciona que las trepadoras herbáceas y leñosas son comunes en este tipo de vegetación y son un elemento característico, por lo tanto ocurrió que el 16% de las especies descritas tienen esta forma de vida. El 15% de las especies son árboles, por lo que la riqueza es baja en comparación con otros grupos. El otro 2% lo componen las epífitas que forman parte del dosel y en algunos casos se encuentran en arbustos. Los porcentajes obtenidos son similares a los reportados por López-Sandoval y colaboradores (2010) para la barranca de Nenetzingo, Ixtapan de la Sal.

En la selva baja caducifolia es común encontrar algunas especies con flor en una época del año y fruto en otra, incluso pueden presentar flor pero no follaje como en el caso de *Ipomoea dumosa*, *Euphorbia schlechtendalii*, *Diphysa puberulenta*, esto mismo pasa en las especies de *Bursera* presentes en las cañadas. La floración tiene su pico más bajo en Abril que es el mes más seco del año y el punto más alto ocurre en Octubre, justo después de la temporada de lluvias que concluye en Septiembre (figura 8), esto concuerda con lo reportado por Borchert y colaboradores (2004).

La composición florística de la selva baja caducifolia tiene afinidad con los trópicos húmedos por la dominancia de elementos neotropicales, así lo corroboran Miranda y Hernández (1963), por ende la estructura de cada comunidad vegetal está asociada a la riqueza de especies y la fisonomía a la precipitación en la zona, esto puede influir o no en comunidades parcialmente aisladas como las cañadas que están separadas por las estribaciones de montañas y por las actividades realizadas en los ecosistemas.

### *Fisonomía*

Las Cañadas San Juan y San Miguel son sitios con diferentes historias de uso a lo largo de los últimos 20 años, hecho que puede repercutir en la composición y estructura de la selva. En la Cañada San Juan se registran actividades antropogénicas en la actualidad, tales como la extracción de leña, pastoreo y cultivos aislados dentro de la barranca, además el acceso es libre. En la Cañada San Miguel la ocupación de la vegetación y el espacio para el pastoreo o extracción de leña disminuyó al grado de no ser ocupada el área, incluso el acceso se encuentra restringido por la caseta de vigilancia de la zona arqueológica.

La Cañada San Juan se caracteriza por su cercanía a zonas de cultivo y en la parte baja existe un manantial que abastece agua principalmente al Barrio San Juan. En la Cañada San Miguel existe un manantial llamado el Rincón de San

Miguel, que abastece la mayor parte de la cabecera municipal. Las cañadas juegan un papel fundamental en la recarga de mantos freáticos que florecen en los manantiales y abastecen de recursos hídricos a gran parte de la población de Malinalco.

Las laderas en las dos cañadas presentan pendientes fuertes a moderadas con frecuentes afloramientos de roca, el suelo es somero en las partes altas y de mayor profundidad hacia el centro de las barrancas. Ambas cañadas presentan elementos arbóreos perennifolios como *Juniperus flaccida* y *Ficus velutina*; el promedio de altura del intervalo de alturas del dosel es entre 7 - 12 (- 20) metros. Se distinguen claramente 3 estratos: el arbóreo, el arbustivo y el herbáceo.

### *Estructura de la vegetación*

La estructura de la vegetación es vital en la infiltración de humedad hacia el subsuelo y capas más profundidad, las cuales llegan a depósitos subterráneos para posteriormente salir en un cuerpo de agua o manantial, como menciona Terradas en 2001, entre más compleja la estructura de las coberturas vegetales mayor posibilidad de recarga.

### *Análisis cuantitativo de la vegetación en la Cañada San Juan*

En la Cañada San Juan se analizó la vegetación desde los diversos estratos que ayuden a comprender la dinámica que esta juega con la recarga hídrica en la zona. En el estrato arbóreo se registró un total de 14 especies que conforman el dosel, el cual tiene una altura promedio arriba de los 8 metros y con algunos elementos aislados de hasta 21 metros, como *Juniperus flaccida* y *Ficus velutina*, que en el caso de la segunda especie se considera eminencia dentro de la cañada, ya que se trata de elementos aislados con coberturas muy grandes y copas en forma de esferas grandes. Los sitios donde se establecen suelen ser suelos bien cubiertos con su propia hojarasca.

Las especies de árboles más sobresalientes por densidad, frecuencia y cobertura son *Lysiloma acapulcense*, *Licania* sp., *Euphorbia calyculata* y *Juniperus flaccida*, y además son las que presentan el valor de importancia más alto, es decir que el dosel se encuentra conformado principalmente por estas especies junto con el resto de las que se enlistan en el cuadro 2. Mismo donde se observan los valores absolutos y relativos para cada especie.

El estrato arbustivo se determinó tomando en cuenta las especies leñosas con más de un 1 metro de altura. Se registró un total de 20 especies que conforman un nivel por debajo del dosel y que hacen más compleja la estructura. En los arbustos destacan *Verbesina serrata*, *Cestrum lanatum*, *Verbesina fastigiata*, *Solanum cervantesii* y *Montanoa arborescens*, ya sea por densidad, frecuencia, cobertura o bien por su alto valor de importancia dentro de la vegetación (ver cuadro 3). Este estrato está ausente sobre todo en sitios con eminencias como *Ficus velutina* y en otros casos puede ser abundante donde el estrato arbóreo ha desaparecido, incluso forma manchones de arbustos que suelen ser frecuentes con especies como *V. serrata*.

Las herbáceas conforman el último nivel con plantas que no forman madera en sus tallos y ramas, en muchos casos suele tratarse de plantas anuales, estas aparecen en temporada de lluvias en la selva baja caducifolio. Las especies dominantes ya sea por densidad, frecuencia, cobertura o por su alto valor de importancia son *Oplismenus burmannii*, un pasto frecuente en este tipo de ecosistemas, *Salvia mexicana* var. *mexicana* una Lamiaceae que se puede encontrar en sitios bien iluminados y forma pequeños manchones compuestos por varios individuos. También se encuentra *Loeselia glandulosa*, cuya planta crece preferentemente en sitios abiertos y cerca de cultivos, donde hay buena iluminación.

En las trepadoras de la Cañada San Juan se registró un total de 15 especies diferentes pertenecientes a 6 familias, donde la que prevalece por mayor número de representantes es Fabaceae. Las especies con mayor densidad son

*Cologania broussonneti*, *Plumbago pulchella*, *Nissolia fruticosa* y *Phaseolus coccineus*, mismas que presentan los valores más altos en frecuencia, cobertura y valor de importancia.

#### *Análisis cuantitativo de la vegetación en la Cañada San Miguel*

La Cañada San Miguel consta de tres estratos bien definidos: el arbóreo, el arbustivo y el herbáceo, además de contar con trepadoras que cruzan entre el dosel y las copas de los arbustos, haciendo la estructura aún más compleja.

El estrato arbóreo en la Cañada San Miguel se encuentra compuesto principalmente por las especies *Lysiloma acapulcense*, *Juniperus flaccida*, *Euphorbia calyculata*, que son los árboles con los valores más altos en densidad, frecuencia, cobertura y con mayor valor de importancia como se observa en el cuadro 6. En este estrato sobresalen algunos elementos por gran porte, es decir sus alturas que superan el dosel y gran amplitud de la copa, como *Ficus velutina*, que se considera una eminencia en esta cañada.

El estrato arbustivo consta de 20 especies registradas para este análisis. Los arbustos crecen con mayor facilidad donde el dosel es más abierto y algunos son indicadores de la perturbación histórica en la zona, sin embargo juegan un papel primordial en la cobertura y retención del suelo, además del aporte de hojarasca al sistema. Los arbustos que prevalecen y dominan este estrato por su alta densidad son *Verbesina serrata*, *Montanoa arborescens* y *Sinclairia glabra*, y las especies con mayor valor de importancia para esta cañada son *Verbesina serrata*, *Montanoa arborescens*, *Solanum cervantesii* y *Sinclairia glabra* como se puede observar en el cuadro 7.

Las herbáceas componen el estrato con menor altura y son parte importante en la cobertura del suelo, además son la forma de vida más abundante, las herbáceas son las primeras plantas en aparecer con la llegada de las lluvias en la selva baja caducifolia. En la Cañada San Miguel destacan, para este estudio,

especies como *Oplismenus burmannii*, *Lasiacis nigra*, *Salvia mexicana* var. *mexicana* y *Adiantum conccinum*, cuyas especies presenta los valores más altos en densidad, frecuencia, cobertura y valor de importancia (ver cuadro 8).

Las plantas trepadoras son una forma de vida común e importante en la selva baja caducifolia, ya que muchas son tan grandes que conectan diferentes árboles o arbustos, y que funcionan como puentes para animales como las ardillas y algunas aves. Las especies de plantas volubles que prevalecen por su valor de importancia son *Phaseolus coccineus*, *Cologania broussonetii* y *Canavalia villosa*.

### *Diversidad*

#### *Cañada San Juan*

De acuerdo con el análisis cuantitativo del estrato arbóreo de la Cañada San Juan la riqueza es igual a 14 especies, y la diversidad de este sitio según el índice de Simpson el valor es de 6.59, por lo tanto se trataría de una comunidad poco diversa, sin embargo la dominancia ( $\lambda$ ) es 0.15, es decir que en este estrato hay baja dominancia de las especies. La Cañada San Juan es un sitio diverso, ya que existe baja dominancia y se corrobora con el valor de equidad ( $e_s$ ) con 0.40 que indica baja homogeneidad en la cantidad de individuos entre las especies y la diversidad máxima para este sitio es de 16.22.

En el índice de Shannon el valor es de 1.78 que indica baja diversidad, la diversidad máxima para Shannon ( $H_{MAX}$ ) es de 2.206 y la equidad ( $J'$ ) es de 0.83, que indica alta homogeneidad en el número de individuos entre las especies. La diversidad calculada con los índices es baja comparada con la riqueza registrada y la diversidad máxima según el índice de Simpson, esto se puede deber a la baja abundancia de cada especie contabilizada en este estudio.

En el estrato arbustivo se registró una riqueza de 20 especies diferentes y la diversidad según el índice de Simpson ( $d_s$ ) es de 8.58, por lo tanto se trata de

una comunidad de arbustos poco diversa según el índice, sin embargo la dominancia es baja con el ( $\lambda$ ) de 0.11, esto indica que la comunidad de arbustos en la Cañada San Juan presenta baja dominancia y, posiblemente, alta diversidad que no se ve reflejada en las abundancias (cuadro 3). La equidad del sitio es de 0.37, por lo tanto se trata de un sitio con baja homogeneidad en la cantidad de individuos entre las especies. La diversidad máxima es de 23.04 especies por lo que la riqueza registrada se encuentra cerca a este valor.

En el caso del índice de Shannon el valor es de 2.44, esto indica que se trata de una comunidad considerablemente diversa. La  $H_{max}$  es de 2.94 y la  $J'$  es igual a 0.82, por lo que se trata de un sitio con alta homogeneidad en el número de individuos entre las especies, es decir las abundancias de cada especie son muy parecidas.

El estrato herbáceo de la Cañada San Juan presenta un índice de diversidad ( $d_s$ ) de 3.52 y un índice de dominancia ( $\lambda$ ) de 0.28, por lo tanto es una comunidad poco diversa según este valor, mientras que para equidad ( $e_s=0.37$ ) indica baja homogeneidad en la cantidad de individuos entre las especies. La diversidad máxima es de 40.13.04 y la riqueza de 39, es decir que se trata de una comunidad diversa, donde los valores de las abundancias no reflejan el valor real. En el índice de Shannon el valor es de 2.06 que indica que se trata de una comunidad con una diversidad considerable, la  $H_{MAX}$  es de 3.66 y la equidad ( $J'=0.56$ ) indica que es un sitio con baja homogeneidad en el número de individuos entre las especies.

En las plantas trepadoras de la Cañada San Juan presenta un índice de diversidad ( $d_s$ ) de 9.15 y un índice de dominancia ( $\lambda$ ) de 0.11, se puede considerar con baja dominancia y alta diversidad, ya que la diversidad máxima calculada es de 16.09 y la riqueza registrada para este grupo es de 15 especies, por lo que la abundancia relativa de cada especie es baja y se trata de un sitio diverso. El valor de equidad ( $e_s=0.56$ ) indica alta homogeneidad en la cantidad de individuos entre las especies. En el índice de Shannon el valor es de 2.38 que indica que se trata

de una comunidad con una diversidad medianamente alta, la diversidad máxima ( $H_{MAX}$ ) es de 2.7 y la equidad ( $J'=0.88$ ) indica que es un sitio con alta homogeneidad en el número de individuos entre las especies.

### *Diversidad*

#### *Cañada San Miguel*

La riqueza del estrato arbóreo es de 10 especies registradas, mientras que la diversidad calculada es de 4.52, lo que habla de una diversidad baja en la Cañada San Miguel y la dominancia es de 0.22, es decir se trata de una comunidad con baja dominancia. La equidad es de 0.40, lo que indica cierta baja homogeneidad entre las abundancias de las especies. La diversidad máxima calculada es de 11.47, comparada con la riqueza registrada se habla de un sitio diverso con densidades relativas bajas (cuadro 6) para cada especie. En el índice de Shannon el valor es de 1.78 que indica baja diversidad, la diversidad máxima para ( $H_{MAX}$ ) es de 2.30 y la equidad ( $J'$ ) es de 0.77, que indica alta homogeneidad en el número de individuos entre las especies.

En el análisis cuantitativo para el estrato arbustivo se registró una riqueza de 20 especies, y la diversidad calculada según el índice de Simpson es de 6.59, por lo tanto se trataría de un sitio con baja diversidad, sin embargo la diversidad máxima calculada es de 23.83, esto quiere decir que las densidades relativas son bajas (cuadro 7), el valor de equidad es igual a 0.27, por lo tanto indica baja homogeneidad en la cantidad de individuos entre las especies. En el índice de Shannon el valor es de 2.38 que indica diversidad medianamente baja, la diversidad máxima ( $H_{MAX}$ ) es de 2.99 y la equidad ( $J'$ ) es de 0.79, que indica alta homogeneidad en el número de individuos entre las especies.

El estrato herbáceo de la Cañada San Miguel presenta un índice de diversidad ( $d_s$ ) de 2.51 y un índice de dominancia ( $\lambda$ ) de 0.39, indican que existe baja diversidad aparentemente con el índice de Simpson. La riqueza en las herbáceas de la Cañada San Miguel se acerca a la diversidad máxima de 41.18, mientras que la equidad es baja con el 0.06, por lo tanto se trata de un sitio con baja homogeneidad en la cantidad de individuos por especie. En el índice de Shannon el valor es de 1.76 que indica que se trata de una comunidad con una diversidad considerable, la diversidad máxima para ( $H_{MAX}$ ) es de 3.68 y la equidad ( $J'=0.47$ ) indica que es un sitio con baja homogeneidad en el número de individuos entre las especies.

En las plantas trepadoras de la Cañada San Miguel presenta un índice de diversidad ( $d_s$ ) de 6.075 y un índice de dominancia ( $\lambda$ ) de 0.16, por lo tanto es una comunidad poco diversa según el índice calculado para Simpson. La diversidad máxima es de 15.41, comparado con la riqueza registrada de 14 especies se trata de un sitio diverso, y el valor de equidad ( $e_s=0.40$ ) indica baja homogeneidad en la cantidad de individuos entre las especies. En el índice de Shannon el valor es de 2.22 que indica que se trata de una comunidad con una diversidad medianamente alta, la diversidad máxima ( $H_{MAX}$ ) es de 2.63 y la equidad ( $J'=0.84$ ) indica que es un sitio con baja homogeneidad en el número de individuos entre las especies.

### Prueba de asociación

En la prueba de asociación se graficaron las especies de las tablas 2-9 para determinar las especies dominantes, indicadoras, comunes y raras, y su relación con el ambiente.

La Cañada San Juan presenta 8 especies dominantes del dosel como se observa en la figura 11 donde se puede observar la diferencia entre las mismas especies según sus abundancias y frecuencias. Es posible que en esta cañada las condiciones sean las idóneas para que prosperen los árboles ya que hay una tala

selectiva de otras especies como ejemplo las personas prefieren la leña de *Juniperus flaccida* antes que la de *Lysiloma acapulcense*, puesto que la primera arde con mayor facilidad.

En otros cuadrantes como el de las indicadoras no existen especies que puedan arrojar evidencia de sitios donde las especies crezcan con mayor abundancia, y tampoco se aprecian árboles en la categoría de comunes. En el cuadrante de las especies raras aparece *Ficus velutina* que es una especie poco frecuente dentro de la selva, sin embargo las coberturas que pueden alcanzar son un factor importante en el crecimiento de herbáceas y arbustos. Para el caso de *Annona cherimola* y *Bocconia arborea* se trata de dos especies poco comunes dentro del bosque tropical, en el caso de la primera es buscada por tanto por sus frutos como por ramas largas y rectas que pueden ser utilizadas para pequeñas construcciones, mientras que la segunda es un claro indicador de sitios perturbados, y sus poblaciones pueden aumentar conforme aumentan los disturbios dentro de un sistema natural.

Los arbustos de la Cañada San Juan y su categoría se muestran en la figura 12, donde se observan dos especies como dominantes, son *Verbesina serrata* y *Cestrum lanatum*, estos son las especies más abundantes y frecuentes dentro de la barranca, se asocian a sitios perturbados por su rápido crecimiento y por sus altas necesidades luz, es indica que se encuentran en sitios donde el dosel es abierto. De acuerdo con Rzedowski la aparición de especies como *Mimosa albida*, *Acacia angustissima* e *Iresine grandis* que se encuentran en el límite entre dominantes e indicadoras, se consideran como indicadoras de perturbaciones ya que son elementos de la vegetación secundaria que crecen en sitios donde hubo selva baja caducifolia, junto con *Eupatorium areolare* pueden ser un indicativo de un sitio con condiciones aptas para plantas que requiere de menor humedad y más luz para su desarrollo.

Las herbáceas son el grupo más numeroso de especies presentes en las Cañadas San Juan y San Miguel (figura 13 y 17), y ambas existen la clara

dominancia de *Oplismenus burmannii* un pequeño pasto nativo de las selvas bajas caducifolias, así como *Salvia mexicana* var. *mexicana* una especie ampliamente distribuida en México. Es interesante la presencia de *Loeselia glandulosa* como dominante en la Cañada San Juan; se observó creciendo dentro de la selva y con mayor abundancia a orillas de los terrenos de cultivo y caminos, lo cual sugiere la existencia de perturbación frecuente dentro de la barranca en cuestión.

En la figura 13 de la Cañada San Juan aparecen dos especies indicadoras, el helecho *Blechnum glandulosum* y el pasto *Lasiacis nigra*, son plantas abundantes en ciertos sitios donde la vegetación es más densa, esto puede indicar que se trata de una cañada donde quedan pocos sitios con los microclimas necesarios para este tipo de plantas. En las plantas comunes aparecen dos helechos y una angiosperma. En el cuadrante de las especies raras hay 4, entre ellas se puede mencionar a *Begonia oaxacana* y *Arundinella deppeana* que son especies nativas del bosque tropical caducifolio, sin embargo sus poblaciones en la cañada son pequeñas.

En la Cañada San Juan aparece como dominante *Serjania racemosa*, que es común en sitios abiertos con buena iluminación, también esta *Dioscorea oreodoxa* planta endémica al Estado de México. En las plantas comunes esta *Rubus adenotrichus*, *Canavalia villosa*, *Metastelma angustifolia* y *Dioscorea longituba*, que crecen en copas de árboles y arbustos, por lo que es difícil localizarlos. En las especies raras se encuentra *Vigna lozanii*, una Fabaceae del estrato herbáceo y arbustivo (ver figura 14).

La Cañada San Miguel cuenta con pocas especies de árboles y sólo con 3 claramente dominantes que son *Lysiloma acapulcense*, *Juniperus flaccida* y *Euphorbia calyculata*, estas son las dos especies que dominan el dosel de esta cuenca, sin embargo existen elementos como *Diphysa puberulenta* que se encuentra en el límite entre dominante e indicadora, esto es un dato importante ya que puede ser se trate de una especie con requerimientos de suelo, luz o agua para su desarrollo. En el caso específico de *Ipomoea mururoides* y *Helicocarpus*

*terebinthinaceus* son representantes con pueden considerarse tanto como comunes como dominantes.

El cuadrante de las comunes aparece *Ficus velutina* que es un elemento importante en la vegetación ya que estos árboles son capaces de extraer agua de profundidades mayores en comparación con otros árboles. En el cuadrante de las Raras se encuentran *Licania* sp. y *Bursera bipinnata* con la frecuencia y abundancia más baja, de hecho son elementos poco comunes en las zonas con poca luz como es el fondo de las cañadas.

En la cañada San Miguel en el estrato arbustivo hay dominancia por *Verbesina serrata* especie que aparece con las especies que se observan en la figura 15 y que muchas son consideradas como elementos de vegetación secundaria como el caso de *Mimosa albida*, *Montanoa arborescens*, *Malvaviscus arboreus*, *Cestrum lanatum*, y otras especies que se consideran como elementos de la selva baja caducifolia primaria como *Sinclairia glabra*, *Solanum cervantesii* y *Bouvardia multiflora*, esto es un punto importante en la recuperación de especies nativas de estos ecosistemas.

En el cuadrante de las plantas raras se ubica a especies como *Euphorbia schelchtendalii* que suele encontrarse de manera aislada y cuya característica importante en cuanto fenología es que durante la época de lluvias presenta follaje y en la época seca aparecen las flores. En las especies comunes aparecen *Acacia angustissima*, que comparado la Cañada San Juan con la Cañada San Miguel, en la segunda la especie *Eupatorium areolare* es indicadora igual que en la Cañada San Juan. En las especies raras de la figura 16 aparecen *Eugenia* sp., *Bursera cuneata*, *Bursera glabrifolia* y *Erythrina breviflora*, que son elementos comunes de la selva baja caducifolia y que no aparecen en la Cañada San Juan.

En la Cañada San Miguel existe mayor número de especies en el cuadrante de las dominantes, entre ellas se puede destacar *Lasiacis nigra*, *Adiantum concinnum*. También es posible notar que existe menor frecuencia y menor

abundancia de *Iresine diffusa* que es considerada propia de ambientes perturbados, lo cual puede hablar de una recuperación de la vegetación nativa presente en ésta cuenca. En el cuadrante de las especies raras aparece *Tripsacum sp.*, un pasto que está en proceso de descripción; otras especies con poca frecuencia y baja abundancia son *Solenophora chiapensis* y *Thrysanthemum goldianum*.

En las trepadoras hay una clara dominancia de *Cologania broussonetii* y *Phaseolus coccineus* en las Cañadas San Juan y San Miguel, sin embargo en la primer cañada existe se observa mayor riqueza de especie en la categoría de dominantes como se observa en la figura 14, mientras que en la figura 18 de la Cañada San Miguel hay menor riqueza.

. En la Cañada San Miguel aparece como plantas dominantes *Canavalia villosa* y *Euphorbia ocymoidea*, la primera crece en copa de árboles y arbustos, mientras que la otra sólo fue encontrada en esta cuenca cerca del cauce intermitente, es probable que en este sitio estas dos especies encuentren las mejores condiciones para una distribución más amplia y con mayor abundancia. Las plantas comunes difieren de las encontradas en la Cañada San Juan.

En las plantas raras se encuentra nuevamente a *Vigna lozanii* con poca frecuencia y baja abundancia, es posible que el desarrollo de esta planta aumente al final de la época de lluvias, ya que se localizaron más ejemplares al final del verano. La riqueza de trepadoras herbáceas de las Cañadas en cuestión es muy similar, sin embargo existen claras diferencias las abundancias y frecuencias de cada una, por lo que fisonomía de cada barranca puede ser diferente.

La riqueza de especies en los diferentes estratos cambia de un sitio a otro, sin embargo la dominancia de algunas especies es muy similar, no obstante fisonómicamente pueden apreciarse diferencias significativas como se muestran en los perfiles de vegetación de las figuras 3 y 4.

### *Prueba de similitud de diversidad*

En el análisis cuantitativo de similitud de cañadas, ambas comparten 14 especies de las cuales comparte 10 y sólo *Annona cherimola*, *Leucaena macrophylla*, *Psidium guajava* y *Bocconia arborea* no aparecen en la cañada San Miguel. De las especies mencionadas las tres primeras son frutales, mientras que la última es indicadora de perturbación. Según el cálculo de los coeficientes de Jaccard y SØrensen se trata de dos comunidades con altos porcentajes de similitud en riqueza. El índice de Morisita registra un alto porcentaje en la similitud de diversidad. No obstante estos resultados, también se observan ciertas diferencias en casos específicos de especies, tal como *Juniperus flaccida* que se encuentra como dominante en la Cañada de San Miguel en una relación de 2:1 con respecto a la Cañada San Juan. Fisonómicamente es clara esta diferencia entre cañadas. Esto también puede estar asociado a la recarga hídrica del sitio ya que esta especie es perenne y por lo tanto brinda sombra al suelo a lo largo de las distintas estaciones climáticas.

En el estrato arbustivo se registró un total de 26 especies en las cañadas y comparten 14 (cuadro 11). Los porcentajes de similitud son altos con el 74 y 85% según en los coeficientes de Jaccard y SØrensen respectivamente. La similitud en la diversidad es alta con el 79% en los arbustos. El estrato herbáceo cuenta con 52 especies diferentes y comparten 26, según los coeficientes comparten ambas comunidades el 49 y 65% de la riqueza de especies, mientras que para el índice de Morisita la diversidad es similar con el 97%. Para el grupo de trepadoras las plantas que no comparten las cañadas son *Euphorbia ocymoidea*, *Nissolia fruticosa*, *Nissolia microptera*, *Rubus adenotrichus* y *Ruellia lactea*, muchas de las cuales pudieron no ser contabilizadas dentro del muestreo, pero no se excluye la idea de que haya presencia de estas especies en ambas cañadas. El porcentaje en el índice de Morisita para trepadoras es del 86% de similitud.

El índice de similitud es muy alto en todos los estratos incluyendo trepadoras para las Cañadas San Juan y San Miguel, la riqueza y las abundancias

de las especies en ambas comunidades, por lo que se puede tratar de un mismo contingente florístico. La diversidad en ambas comunidades es muy similar según el índice de Morisita. La diversidad, la riqueza y la estructura de la vegetación parecen ser similares según los datos obtenidos en el análisis cuantitativo, sin embargo existen evidencias de perturbación dentro de la selva que sólo se pueden ver en campo, y que alteran la estructura de la vegetación, la riqueza y diversidad, incluso la cobertura del suelo.

#### *Condición superficial*

En las selvas bajas como menciona Rzedowski (1978) y Trejo (2005) la cobertura del suelo es muy importante ya que con la caída del follaje en la época seca del año es una de las principales características de este tipo de vegetación. Esta particularidad tiene efectos positivos en el bosque ya que la hojarasca o mantillo, la cobertura vegetal e incluso las rocas protegen el suelo de los vientos, lo que disminuye la erosión eólica y en la época lluviosa evita la erosión hídrica provocada sobre todo por las precipitaciones erráticas y tormentas intensas como explica Maass y colaboradores (1988).

Otros servicios ecosistémicos de la cobertura superficial del suelo es que funciona como filtro de sedimentos que pueden percolar a capas más profundas, por lo tanto se disminuye o evita la contaminación de mantos freáticos, y se mantiene o mejora la calidad del agua subterránea.

En las Cañadas San Juan y San Miguel el suelo se encuentra cubierto por mantillo (compuesto por hojarasca y materia en degradación), cobertura vegetal (que se refiere a las plantas que están a nivel del sustrato como plántulas, hojas, licopodiophytas o briophytas) y rocas.

En la Cañada San Juan el porcentaje de suelo cubierto por mantillo es del 69% mientras que en la Cañada San Miguel es del 77%, esta diferencia puede atribuirse a las actividades que se realizan en cada sitio, ya que en la cañada San

Juan el paso de las personas dentro de la selva sucede con mayor frecuencia mientras que en la otra cañada es casi nulo. Los porcentajes de cobertura vegetal son muy similares entre cañadas como se observa en las figuras 19 y 20.

La cobertura vegetal se dividió en plantas vasculares y briophytas donde se pueden ver diferencias en las figuras 21 y 22 de las Cañadas San Juan con mayor porcentaje de briophytas y en la Cañada San Miguel con más plantas vasculares, esto se puede relacionar con los diferentes sustratos, ya que los musgos se establecen preferentemente sobre rocas y las plantas vasculares crecen en zonas con suelo o mantillo.

La condición superficial puede cambiar de una zona a otra dentro de un mismo sitio, esto sucede en las laderas que conforman la barranca. En la Cañada San Juan hay mayor porcentaje de mantillo en la ladera sur con el 74% y 65% en la ladera norte, la cobertura vegetal es similar en ambas laderas, sin embargo existe mayor exposición de roca en la ladera norte con el 13%, mientras que en la sur sólo existe el 3%, esto puede deberse a que hay mayor exposición durante el día en la parte norte de la cañada y en la ladera sur con exposición norte hay mayor sombra lo que podría suponer mayor humedad en ésta parte de la cañada, por lo tanto hay mayor crecimiento de musgos.

En la Cañada San Miguel los porcentajes de mantillo de cada ladera son de 79% en la sur y 76% de la norte, en cobertura vegetal es de 20% y 22% respectivamente, y con el 1% y 2% que cubren el suelo (figuras 25 y 26). Esto indica que los procesos de almacenamiento de hojarasca y cobertura superficial son más estables en ésta barranca, comparado con la Cañada San Juan.

La dinámica que se realiza dentro de cada cañada está influenciada por las actividades y eventos naturales (caída de árboles), esto condiciona la cobertura superficial del suelo por mantillo, cobertura vegetal, roca y suelo desnudo. Aparentemente la Cañada San Miguel es más estable y con mayor cobertura superficial, en comparación con la Cañada San Juan. En la profundidad de la

hojarasca de cada cañada hay pocas diferencias significativas como se observa en la figura 27.

Existen pocas diferencias significativas en la condición superficial del suelo entre cañadas, no obstante hay una zona claramente diferenciada en la Cañada San Juan en el derrumbe que se encuentra en la parte alta de ésta barranca, y representa el 15% del área total de la barranca. Esta área es completamente desprovista de vegetación. En comparación con la Cañada San Miguel donde si existe vegetación y de hecho es más densa en la parte más alta y cercana al parteaguas.

### *Zonas de recarga hídrica*

El bienestar de las poblaciones humanas depende en gran medida de los servicios ecosistémicos que obtiene de la naturaleza, entre ellos se puede contar materiales para construcción, combustibles, minerales y espacios para recreación como lo describe Balvanera y Maass (2010). Cada sistema natural ofrece diferentes servicios, por ejemplo las selvas bajas caducifolias no cuenta con especies arbóreas aptas para el aprovechamiento de madera, sin embargo es considerado como origen de productos alimenticios con especies como *Zea mays*, *Phaseolus* spp., *Cucurbita* spp., entre otros. Y de los servicios que proveen servicios de regulación como el mantenimiento de condiciones microclimáticas, mejoramiento de la calidad del agua, mantenimiento de la biodiversidad, sitios de recreación, entre otros que describen Rzedowski (1978), Challenger (1998), Trejo (2005), Balvanera y Maass (2010).

Del estado de conservación de las selvas caducifolias dependen relaciones ecológicas como la infiltración, donde cerca del 90% de la precipitación retorna a la atmósfera por evaporación y evapotranspiración de acuerdo con lo reportado por Burgos (1999), de ahí la importancia de la estructura de la vegetación, ya que cuando esta es cerrada intercepta las gotas de lluvia y reduce la velocidad del

impacto, además con la aportación de hojarasca brinda una alto recubrimiento al terreno y reduce la compactación del suelo.

Para generar estrategias de conservación es necesario determinar las áreas con potencial para recarga hídrica, en Malinalco las posibles zonas de recarga son las cañadas como se observa en la figura 24, ya que estas zonas por su forma cóncava pueden captar precipitación y concentrar los escurrimientos en el fondo donde los suelos son de mayor profundidad, además en las barrancas la vegetación se encuentra en mayor densidad lo que aumenta las posibilidades de disminución de temperatura en el suelo, mayor intercepción por el dosel y cobertura de arbustos y herbáceas.

En el mapa de la figura 28 se puede apreciar que las Cañadas en general son sitios con alto potencial para la recarga hídrica en Malinalco, Estado de México y son sitios con vegetación densa que permite la realización de infiltración de humedad a mantos freáticos. La condición superficial del suelo indica que existe un porcentaje alto en mantillo y por lo tanto puede realizarse un proceso dinámico de recarga hídrica.

Aparentemente existe pocas diferencias en la composición florística y en la estructura de la vegetación de las Cañadas San Juan y San Miguel, pero que pueden marcar un parámetro en la conservación del lugar. Los resultados se pueden reflejar en el gasto hídrico de cada manantial aledaño la zona de recarga hídrica.

El gasto hídrico del manantial San Juan es de 9.42 litros por segundo comparado con el manantial San Miguel de 24.5 y 50.4 litros por segundo (datos proporcionados por la Escuela del Agua A. C. 2012). Se puede considerar que hay menor presión antropogénica sobre la vegetación y el suelo de la Cañada San Miguel, por lo tanto el potencial de recarga hídrica en ésta barranca es, por mucho, más alto que en la Cañada San Juan donde aún existen actividades agropecuarias.

## CONCLUSIONES

La composición florística de las Cañadas San Juan y San Miguel, municipio de Malinalco, Estado de México, es de 199 especies, repartidas en 152 géneros y 70 familias, en un área no mayor a 6 hectáreas, lo cual supone es más alta en comparación con otros trabajos donde el área es más grande.

Existen 19 registros de especies endémicas a México y el reporte de *Alophia veracruzana*, como registro nuevo para el Estado de México, más dos posibles especies nuevas de los géneros *Tripsacum* sp. y *Pitcairnia* sp. ya que se encuentran en proceso de descripción por especialistas.

La estructura de la vegetación de las Cañadas San Miguel y San Juan es similar en las abundancias, frecuencias, cobertura. Las especies con más alto valor de importancia son *Lysiloma acapulcense*, *Juniperus flaccida*, *Verbesina serrata*, *Oplismenus burmannii*, *Salvia mexicana* var. *mexicana*, *Phaseolus coccineus* y *Cologania broussonetii*.

La riqueza y diversidad de las Cañadas San Juan y San Miguel es similar entre ambos sitios, y es alta en comparación con estudios similares donde las áreas de muestreo son mucho más grandes.

La condición superficial del suelo es más apta para la recarga hídrica en la Cañada San Miguel, ya que presenta mayor cobertura por material de recubrimiento como la hojarasca y plantas. Esto podría tener relación con la mayor proporción de *Juniperus flaccida* presentes en dicha barranca.

Las cañadas de Malinalco tiene un alto potencial para la recarga hídrica y funcionan como reservorios de biodiversidad, por lo tanto es primordial la conservación de estos sitios para el aprovechamiento de los servicios ecosistémicos a largo plazo.

El gasto hídrico es mayor en el manantial del Rincón de San Miguel, por lo que la zona de recarga se encuentra en mejores condiciones para la filtración de humedad a mantos freáticos, mientras que en la Cañada San Juan es menor el gasto hídrico, lo que puede relacionarse con el uso de suelo actual en el sitio.

La estructura de la vegetación es similar entre sitios de estudio. El estado de conservación de ambas cañadas es similar a excepción por las claras evidencias de perturbación como el derrumbe y la parcela de cultivo en la Cañada San Juan, mientras que la Cañada San Miguel no presenta evidencias claras de perturbaciones tan fuertes, por lo tanto se puede considerar como un sitio mejor conservado y apto para el resguardo de biodiversidad.

Este es el primer estudio sobre flora y vegetación en la zona, por lo que los resultados pueden considerarse preliminares para determinar la totalidad de la flora de Malinalco, sin embargo sienta bases para plantear estrategias de recuperación, restauración, conservación y aprovechamiento de los recursos que ofrecen las zonas naturales del municipio.

## LITERATURA

- Aguilera-Gómez, L. I. e I. V. Rivas-Manzano. 2006. *Vegetación y flora de Malinalco y su región*. Páginas 25-34. En Noguez, X. 2006. *Malinalco y sus contornos, a través de los tiempos*. Colegio Mexiquense. Toluca, México.
- Artieda, O. 2008. Papel del suelo en el ciclo hidrológico. *Forum de Sostenibilidad* 2: 19-31.
- Balvanera P. y M. Maass. 2010. *Los servicios ecosistémicos que proveen las selvas secas*. Págs. 251-269. En Noguera, F.A., Vega Rivera, J.H., García Aldrete, A. N. y M. Q. Avendaño. 2010. *Historia Natural de Chamea*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Begon, M., Harper, J. L. y C. Townsend. 1999. *Ecología Individuos, Poblaciones y Comunidades*. 3º Ed. OMEGA. Barcelona, España.
- Bellair, P. y C. Pomerol. 1968. Tratado de Geología. Vicens-vives. Barcelona, España.
- Borchert, R., Meyer, S. A., Felgers, R. S. y L. Porter-Bolland. 2004. Environmental control of flowering periodicity in Costa Rican and Mexican tropical dry forests. *Global Ecology and Biogeography*. 13: 409-425.
- Brassington, R. 1998. *Alumbramiento de aguas*. Acribia. Zaragoza, España.
- Brower, J. E., Zar, J. H. y C. van Ende. 1990. *Field and laboratory for general ecology*. W. C. Brown Publisher. Universidad de Michigan. Michigan, Estados Unidos de América.
- Burgos, T. A. L. 1999. Dinámica hidrológica del bosque tropical seco en Chamea, Jalisco, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Calderón, L., Rivera, V., Porter, L., Martínez, A., Ladah, L., Martínez, M. Alcocer, J., Santiago, A., Hernández, H., Reyes, V., Pérez, D., Díaz, V., Sosa, J., Herrera, J. y A. Bürquez. 2012. An assessment of natural and human disturbance effects on Mexican ecosystems: current trends and research gaps. *Biodiversity Conservation*. 21: 589-617.

- Cervantes-Servin, L. 1988. Intercepción de lluvia por el dosel en una comunidad tropical. *Ingeniería Hidráulica en México*. (III) 2: 38-42.
- Challenger, A. 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto de Biología y Sierra Madre. México.
- Colinvaux, P. 1980. Introducción a la ecología. Limusa. D. F., México
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. 2012. Situación de los recursos hídricos. En. <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=87&n4=29>
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional [CETENAL]. 1970. *Carta geológica de Tenancingo*. México.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional [CETENAL]. 1976. *Carta edafológica de Tenancingo*. México.
- Daubenmire, R. F. 1999. *Ecología Vegetal. Tratado de autoecología de plantas*. LIMUSA-Noriega Editores. D. F., México.
- Escolero-Fuentes, O., E. Domínguez y S. Martínez. 2006. Ciclo hidrológico. Páginas 16-21. En Pérez-Damián, J. L. 2006. *Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala*. Instituto Nacional de Ecología. D. F., México.
- Fonseca-González, W. y A. Morera-Beita. 2008. *El bosque tropical en Costa Rica: caracterización ecológica y acciones para la restauración*. Páginas 115-135. En González-Espinosa, M., J. M. Rey-Benayas y N. Ramírez-Marcial. Restauración de bosques en América Latina. Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistema (FIRE) y Mundi-Prensa. D. F., México.
- Flores, G. E. 2001. *Programa de la materia de sistemas de producción forestal*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. 2012. El estado de los bosques del mundo. Roma, Italia.
- Franquis, F. R. y A. M. Infante. 2003. Los bosques y su importancia para el suministro de servicios ambientales. *Revista Forestal Latinoamericana*. 34: 17-30.

- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 2<sup>a</sup> Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F., México.
- Galicia, L., López-Blanco, J., Zarco-Arista, A.E., Filips, V. y F. García-Olvera. 1999. The relationship between solar radiation interception and soil water content in a tropical deciduous forests in Mexico. *Catena* 36: 153-164.
- Gentry, A. H. 1995. Diversity and floristic composition of Neotropical dry forests. Páginas 146 – 194. En Bullock, S.H., Mooney, H. A. y E. Medina (Eds.). 1995. *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra.
- Gómez-Roa A. 2013. *Estudio del bosque tropical caducifolio en las barrancas de Tonatico, Estado de México, México. Tesis de Licenciatura*. Universidad Nacional Autónoma de México. Tlalnepantla, México.
- González-Carrasco, W. C. 2011. *Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la subcuenca del río Zaratí, Panamá*. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- González, T. M. 2011. Función de los bosques en el ciclo hidrológico. *Revista Montes* 3 (106): 55-56.
- Granados, S. D. y Tapia, R. V. 1990. *Comunidades vegetales*. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.
- Hamilton, L. S., N. Dudley, G. Grminger, H. Hassan, D. Lamb, S. Stolton y S. Tognetti. 2009. *Forest and water*. Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. Roma, Italia.
- Hernández-Espriu, A. 2011. Hidrología. Págs. 197-213. En Monroy, O. H. 2011. *Cosmos: Enciclopedia de las Ciencias y la Tecnología en México. Ciencias de la Tierra*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma Metropolitana e Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal. Distrito Federal, México.
- Herrera-Ibáñez, I. R. y O. Brown-Manriquez. 2011. Propuesta de una metodología para la estimación de áreas de recarga hídrica en Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 20(4): 48-52.

- Holz, S. y N. Ramírez-Marcial. 2011. *La leña: Principal recurso energético en las comunidades rurales. Metodologías para la estimación del consumo doméstico y producción de la leña a partir de árboles nativos*. El Colegio de la Frontera Sur y Red de Espacios de Innovación Socioambiental. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI]. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Malinalco, México. Consulta en línea el 08 de febrero de 2013 en <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=15>.
- Jaramillo V. J., Boone K. J., Rentería-Rodríguez L., Cummings D. L. y L. J. Ellingson. 2003. Biomass, Carbon, and Nitrogen Pools in Mexican Tropical Dry Forest Landscapes. *Ecosystems*. 6: 609-629.
- Kresic, N. 2009. *Groundwater resources. Sustainability, management and restoration*. McGraw-Hill Interamericana. EUA.
- Lenhardt, N., H. Böhnel, K. Wemmer, I. S. Torres-Alvarado, J. Hornung y M. Hinderer. 2010. Petrology, magnetostratigraphy and geochronology of the Miocene volcaniclastic Tepoztlán Formation: implications for the initiation of the Transmexican Volcanic Belt (Central Mexico). *Bull Vulcanol* 72: 817-832.
- Lin, S. D. 2007. *Water and wastewater calculations manual*. 2<sup>a</sup> Ed. McGraw-Hill Interamericana. New York, E.U.A.
- Lott, E. J. y T. H. Atkinson. 2002. Biodiversidad y fitogeografía de Chamela-Cuixmala, Jalisco. Págs. 99-136. En Noguera, F.A., Vega Rivera, J.H., García Aldrete, A. N. y M. Q. Avendaño. 2010. *Historia Natural de Chamela*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Lott, E. J. y T. H. Atkinson. 2010. *Diversidad florística*. Págs. 63–76. En Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Bezaury-Creel y R. Dirzo. 2010. *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México*. Fondo de Cultura Económica y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. D. F., México.
- López-Sandoval, J. A., Koch, S. D., Vázquez-García, L. M., Munguia-Lino, G. y E. J. Morales-Rosales. 2010. *Polibotánica*. 30: 9-33.

- López-Patiño, E. J., J. A. López-Sandoval, A. S. Beltrán-Retis y L. I. Aguilera Gómez. 2012. Composición de la flora arbórea en el área natural protegida Tenancingo-Malinalco-Zumpahuacan, Estado de México, México. *Polibotánica* 34: 51-98.
- Maass, M. 2003. *El agua como elemento integrador de los procesos fundamentales del ecosistema*. Pág. 109-116. En Ávila-García, P. 2003. Agua, medio ambiente y desarrollo del siglo XXI. Colegio de Michoacán. México.
- Maass, M., Balvanera, P., Castillo, A., Daily, G., Mooney, H., Ehrlich. P., Quesada, M., Miranda, A., Jaramillo, V., García-Oliva, F., Martínez-Yrizar, A., Cotler, H., López-Blanco, J., Pérez-Jiménez, A., Bürquez, A., Tinoco, C., Ceballos, G., Barraza, L., Ayala, R. y J. Sarukhán. 2005. Ecosystem Services of Tropical Dry Forests: Insights from Long-term Ecological and Social Research on the Pacific Coast of Mexico. *Ecology and Society* 10(1): 17.
- Martínez de la Cruz, I. 2010. *La Flora y vegetación ruderal de Malinalco, Estado de México*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México.
- Matus, O., J. Faustino y F. Jiménez. 2009. Guía para identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica. Aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua. Serie técnica. Boletín técnico/ CATIE; no. 38. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Mier, Raymundo. 2005. Malinalco: La congregación de los tiempos. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Miranda, F. y E. Hernández. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28: 29-179.
- Mittermeier, R. A. y C. G. Mittermeier. 1992. *La importancia de la diversidad biológica de México*. En Sarukhán, J. y R. Dirzo. 1992. México ante los restos de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, México.
- Mullaney, J. R. 2004. Water use, ground-water recharge and availability, and quality of water in the Greenwich area, Fairfield County, Connecticut and

- Westchester County, New York, 2000-2002. *Water-Resources Investigations Report*. USA.
- Nava-Bernal, J. H. 2008. *Las orquídeas del municipio de Ocuilan de Arteaga, Estado de México. Tesis de licenciatura*. Unidad Académica Profesional Tenancingo, Universidad Autónoma del Estado de México. Tenancingo, México.
- Odum, E. P. y G. W. Barret. 2006. *Fundamentos de ecología*. (5<sup>a</sup> Ed. en español, Aguilar-Ortega, M., Trad.). CENGAGE-Learning. Ixtapaluca, México.
- Primack, R., Rozzi, R., Freisinger, P., Dirzo, R. y F., Massardo. 2000. *Fundamentos de conservación biológica: Perspectivas latinoamericanas*. Fondo de Cultura Económica. Distrito Federal, México.
- Ricklefs, R. E. y G. L. Miller. 2000. *Ecology*. 4<sup>a</sup> Ed. W.H. Freeman and Company. New York, Estados Unidos de América.
- Rosito-Monzón, J. C. 2010. *Evaluación hidrológica del Cerro Las Granadillas y la subcuenca priorizada El Riachuelo, Proyecto PESH WWF/CARE. Subcuenca Tacó, Huité y Riachuelo*. WWF, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y CARE. Guatemala.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa. Distrito Federal, México.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México: una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mexicana* 15:47-64.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., Halffter, G., González, R., March, I., Mohar, A., Anta, S. y de la Maza J. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Distrito Federal, México.
- Scanlon, B., Healy, R. y P. Cook. 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal* 10: 18-39.
- Schneider, L. M. 2005. *Malinalco: Monografía Municipal*. Gobierno del Estado de México, Universidad Autónoma del Estado de México, Asociación Mexiquense de Cronistas Municipales A. C., H. Ayuntamiento de Malinalco e Instituto Mexiquense de Cultura. Toluca, México.

- Snyder, N. P. 1996. Recharge area and water quality of the valley-fill aquifer castle valley, Grand County, Utah. *Utah Geological Survey*.
- Sokal, R. y J. Rohlf. 1969. *Biometría: Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. Blume. Madrid, España.
- Sousa, M., Ricker, M. y H. Hernández. 2001. Tree species of the family Leguminosae in México. *Harvard Papers Bot.* 6: 339-365.
- Spellman, F. y J. Drinan. 2004. *Manual del agua potable*. Acribia. Zaragoza, España.
- Terradas, J. 2001. Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de plantas a la dinámica de comunidades y paisajes. Omega. Barcelona, España.
- Toledo, A. 2006. *Aqua, hombre y paisaje*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México.
- Toledo, V. M. y F. Eccardi. 1989. La diversidad biológica de México; un proyecto de comunicación para conocer un patrimonio. Manuscrito. México, México.
- Trejo, I. y R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation* 94: 133-142.
- Trejo, I. y R. Dirzo. 2002. Floristic diversity of Mexican seasonally dry tropical forests. *Biodiversity and Conservation* 11: 2063-2084.
- Trejo, I. 2005. *Análisis de la diversidad de la selva baja caducifolia en México*. Páginas 111-122. En Halfeter, G., J. Soberón, P. Koleff y A. Melic. Sobre Diversidad Biológica: El significado de las Diversidades Alfa, Geta y Gamma. m3m-Monografías 3cer Milenio, vol. 4. Sociedad Entomológica Aragonesa, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Grupo Diversitas-México y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Zaragoza, España.
- Velázquez, A. y F. J. Romero. 1999. Biodiversidad de la Región de Montaña del sur de la Cuenca de México. Universidad Autónoma Metropolitana y Secretaría del Medio Ambiente. Distrito Federal, México.
- Villaseñor, J. L. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta en México. *Interciencia* 28 (003): 160-167.

Ville, C. A., E. P. Solomon, C. E. Martin, D. W. Martin, L. R. Berg y P. W. Davis.  
1992. *Biología*. 2a Ed. Interamericana y McGraw-Hill. Distrito Federal,  
México.

**Apéndice 1.** Lista de las especies recolectadas y determinadas de las Cañadas San Juan y San Miguel, del municipio de Malinalco, Estado de México.

***Lycopodiophyta***

Selaginellaceae

*Selaginella pallescens* (Presl.) Spring.

***Pteridophyta***

Blechnaceae

*Blechnum glandulosum* Kaulf. ex Link

Dryopteridaceae

*Dryopteris cinnamomea* (Cav.) Christensen

*Dryopteris patula* (Sw.) Underw.

*Dryopteris rossii* Christensen

Polypodiaceae

*Pecluma cupreolepis* (Evans) Price

*Pecluma ferruginea* (Martens & Galeotti) Price

*Pleopeltis macrocarpa* var. *tricophora* (Weath.) Pic. Serm.

Pteridaceae

*Adiantum concinnum* Humb. & Bonpl. Ex. Willd.

*Bommeria pedata* (Sw.) E. Fourn.

*Cheilanthes angustifolia* Kunth.

*Pellaea sagittata* (Cav.) Link

***Pinophyta***

Cupressaceae

*Juniperus flaccida* Schltdl.

Pinaceae

*Pinus montezumae* var. *montezumae* Martínez

*Pinus herrerae* Martínez

Taxodiaceae

*Taxodium mucronatum* Ten.

### ***Magnoliophyta***

#### **Liliopsida**

Amaryllidaceae

*Hymenocallis harrisiana* Herb.

Anthericace

*Echeandia mexicana* Cruden

Araceae

*Arisaema macrospathum* Benth.

Bromeliaceae

*Pitcairnia* sp.

*Tillandsia dasyliriifolia* Baker

*Tillandsia schiedeana* Steud.

Commelinaceae

*Commelina dianthifolia* DC.

*Commelina diffusa* Burm.

*Gibasis pellucida* (Mark. & Gal.) Hunt.

*Tripogandra purpurascens* subsp. *purpurascens* (Schauer) Handlos.

Dioscoreaceae

*Dioscorea longituba* Uline

*Dioscorea oreodoxa* B. G. Schubert

Iridaceae

*Milla biflora* Cav.

*Alophia veracruzana* Goldblatt & T. M. Howard

Graminea

*Arundinella deppeana* Nees ex Steud

*Lasiacis nigra* Davidse

*Oplismenus burmannii* (Retz.) P. Beauv.

*Tripsacum* sp.

Orchidaceae

*Laelia autumnalis* Lindl.

*Spiranthes aurantiaca* (Lex.) Hemsl.

**Magnoliopsida**

Acanthaceae

*Dyschoriste hirsutissima* (Nees) Kuntze

*Ruellia lactea* Cav.

Amaranthaceae

*Iresine diffusa* Humb. & Bonpl. Ex. Willd.

*Iresine grandis* Standl.

Anacardiaceae

*Spondias mombin* L.

*Toxicodendron radicans* (L.) Kuntze

Annonaceae

*Annona cherimola* Mill.

Apocynaceae

*Mandevilla foliosa* (Müll .Arg.) Hemsl.

*Thenardia floribunda* Kunth

Asclepiadaceae

*Asclepias glaucescens* Kunth

*Asclepias rosea* Kunth

*Cynanchum foetidum* (Cav.) Kunth.

*Marsdenia mexicana* Decne.

*Metastelma angustifolium* Turcz.

Asteraceae

*Ageratum corymbosum* Zuccagni ex Pers.

*Bidens odorata* Cav.

*Dahlia coccinea* Cav.

*Eupatorium areolare* DC.

*Eupatorium pycnocephalum* Less.

*Eupatorium ramireziorum* J. Espinoza

*Galinsoga quadriradiata* Ruiz & Pavón

*Lagascea angustifolia* DC.

*Melampodium divaricatum* (L. C. Rich.) DC.

*Melampodium perfoliatum* (Cav.) H. B. K.

*Montanoa arborescens* DC.

*Otopappus jaliscensis* McVaugh sinonimía de *Lundellianthus jaliscensis* (McVaugh) Strother

*Perymenium reticulatum* Fray.

*Senecio praecox* (Cav.) DC.

*Sinclairia glabra* (Hemsl.) Rydb.

*Stevia latifolia* Benth.

*Tagetes lucida* Cav.

*Tagetes lunulata* Ort.

*Trigonospermum melampodioides* DC.

*Verbesina fastigiata* B. L. Rob. & Greenm.

*Verbesina serrata* Cav.

*Verbesina virgata* Cav.

*Vernonia capreifolia* Gleason sinonimia de *Vernonanthura liatroides* (DC) H. Rob.

*Vernonia oaxacana* Sch. Bip. Ex. Klatt

*Vernonia salicifolia* (DC.) Sch.

*Viguiera palmeri* var. *rzedowskii* McVaugh

Begoniaceae

*Begonia oaxacana* A. DC.

Bignoniaceae

*Jacaranda mimosifolia* D. Don

*Tecoma stans* (L.) Juss. Ex. Kunth

Bombacaceae

*Ceiba aesculifolia* (H.B.K.) Britt. & Baker

Burseraceae

*Bursera bipinnata* (Moc. & Sessé ex DC.) Engl.

*Bursera cuneata* (Schltdl.) Engl

*Bursera glabrifolia* (Kunth.) Engl.

Cactaceae

*Opuntia* aff. *velutina* F. A. C. Weber

Caryophyllaceae

*Stellaria cuspidata* Schltdl.

Chrysobalanaceae

*Licania* sp.

Convolvulaceae

*Cuscuta tinctoria* Mart. Ex Engelm.

*Ipomoea cholulensis* Kunth.

*Ipomoea dumosa* (Benth.) L. O. Williams

*Ipomoea murucoides* Roem. & Schult.

*Ipomoea purpurea* (L.) Roth

Cucurbitaceae

*Echinopepon floribundus* (Cogn.) Rose

*Echinopepon racemosus* (Steud.) C.

*Melothria trilobata* Cogn.

*Schizocarpum filiforme* Schrad.

Euphorbiaceae

*Acalypha setosa* A. Rich.

*Acalypha* sp.

*Euphorbia calyculata* Kunth

*Euphorbia heterophylla* L.

*Euphorbia lacera* Boiss.

*Euphorbia ocymoidea* L.

*Euphorbia pulcherrima* Willd. Ex. Klotzsch

*Euphorbia schlechtendalii* Boiss.

*Manihot microcarpa* Müll. Arg. ssp. *Microcarpa*

Fabaceae

*Acacia pennatula* (Cham. & Schltdl.) Benth.

*Acaciella angustissima* var. *texensis* (Torr. & Gray) Isely

*Calliandra grandiflora* (L'Her.) Benth.

*Canavalia villosa* Benth.

*Cologania broussonetii* (Balbis) DC.  
*Dalea leporina* (Ait.) Barneby  
*Desmodium intortum* (Mill.) Urban  
*Desmodium skinneri* var. *mortonii* Schubert & McVaugh  
*Desmodium* sp.  
*Diphysa puberulenta* Rydb.  
*Diphysa suberosa* S. Wats.  
*Erythrina breviflora* DC.  
*Eysenhardtia polystachya* (Ort.) Sarg.  
*Galactia* sp. P. Brown  
*Leucaena macrophylla* Benth.  
*Lysiloma acapulcense* (Kunth) Benth.  
*Mimosa albida* Humb. & Bonpl. Ex. Willd.  
*Nissolia fruticosa* Jacq.  
*Nissolia microptera* Poir.  
*Phaseolus coccineus* L.  
*Vigna lozanii* (Rose) Lackey ex McVaugh

Gesneriaceae  
*Achimenes grandiflora* D.C.  
*Achimenes heterophylla* (Mart.) DC.

Garryaceae  
*Garrya longifolia* Rose

Labiatae  
*Hyptis urticoides* Kunth.  
*Salvia mexicana* var. *mexicana* L.  
*Salvia purpurea* Cav.  
*Salvia sessei* Benth.

Lauraceae

*Phoebe pallescens* Mez.

Loasaceae

*Mentzelia hispida* Willd.

Loganiaceae

*Buddleia parviflora* Kunth

Lythraceae

*Cuphea paucipetala* DC.

*Cuphea toluccana* Peyr.

Malpighiaceae

*Banisteriopsis argentea* (H.B.K.) Spreng.

*Thryallis glauca* = *Galphimia glauca* Cav.

*Gaudichaudia pentandra* A. Juss.

*Tetrapterys schiedeana* Cham. & Schlecht.

Malvaceae

*Abutilon giganteum* (Jacq.) Sweet

*Anoda cristata* (L.) Schltl.

*Malvaviscus arboreus* Cav.

*Sida acuta* Burm.

*Sida glabra* Mill.

Melastomataceae

*Heterocentron axillare* Naudin

Moraceae

*Ficus petiolaris* Kunth

*Ficus velutina* Humb. & Bonpl. Ex. Willd.

Myrsinaceae

*Myrsine myricoides* (Schltdl.) Lundell

Myrtaceae

*Eugenia* sp.

*Psidium guajava* L.

Onagraceae

*Lopezia racemosa* Cav.

Oxalidaceae

*Oxalis gregaria* Rose.

Papaveraceae

*Bocconia arborea* S. Watson

Phytolacaceae

*Phytolacca icosandra* Sims.

*Rivina humilis* L.

Plumbaginaceae

*Plumbago pulchella* Boiss

Polemoniaceae

*Loeselia glandulosa* (Cav.) G.Don

*Loeselia mexicana* (Lam.) Brand.

*Loeselia pumila* (Mart. & Gal.) Walp.

Primulaceae

*Anagallis arvensis* L.

Ranunculaceae

*Clematis grossa* Benth.

*Thalictrum pubigerum* Benth.

Rosaceae

*Eriobotrya japonica* (Thund) Lindl.

*Rubus adenotrichus* Schldl.

Rubiaceae

*Bouvardia multiflora* (Cav.) Schult. & Schult.

*Crusea calocephala* DC

*Spermacoce confusa* Rendle.

Sapindaceae

*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.

*Serjania racemosa* Schumach

Scrophulariaceae

*Castilleja arvensis* Cham. & Schldl.

*Castilleja gracilis* Benth.

*Lamourouxia rhinanthifolia* H.B.K.

*Russelia chiapensis* Lundell.

Solanaceae

*Capsicum annuum* L.

*Cestrum lanatum* M. Martens & Galeotti sinonimía con *Cestrum tomentosum* L. f.

*Lycianthes ciliolata* (Mart. & Gal.) Bitter

*Solanum bulbocastanum* Dunal.

*Solanum cervantesii* Lag.

*Solanum dulcamaroides* Dunal

*Solanum torvum* Sw.

Tiliaceae

*Helicocarpus terebinthinaceus* (DC.) Hochr.

Umbelliferae

*Eryngium comosum* F. Delaroche

*Spananthe paniculata* Jacq.

Urticaceae

*Pouzolzia occidentalis* (Liebm.) Wedd.

*Pouzolzia pringlei* Greenm.

*Urtica chamaedryoides* Pursh.

Verbenaceae

*Lantana achyranthifolia* Desf.

*Lantana camara* L.

*Lantana velutina* Kunth

*Lippia callicarpifolia* Kunth

*Verbena carolina* L.

Vitaceae

*Vitis tiliifolia* Humb. & Bonpl. Ex. Schult