



# HISTORIA NATURAL Y CULTURAL DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

Ciudad de México, México



Lucía Almeida Leñero  
Javier Carmona Jiménez  
Enrique A. Cantoral Uriza  
COORDINADORES



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**HISTORIA NATURAL Y CULTURAL DE LA CUENCA DEL  
RÍO  
MAGDALENA, CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO**

Lucia Almeida Leñero  
Javier Carmona Jiménez  
Enrique A. Cantoral Uriza  
*Coordinadores*

## **AVISO LEGAL**

Historia natural y cultural de la cuenca del río Magdalena. Lucia Almeida Leñero, Javier Carmona Jiménez, Enrique A. Cantoral Uriza, coordinadores

1a. edición electrónica, 5 de septiembre de 2018

© D.R. 2018. Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias. Ciudad Universitaria. Delegación Coyoacán.  
C.P. 04510, Ciudad de México.  
editoriales@ciencias.unam.mx  
tienda.fciencias.unam.mx  
ISBN: 978-607-30-0914-0

Prohibida la reproducción parcial o total de la obra por cualquier medio sin la autorización por escrito del titular de los derechos patrimoniales.

Hecho en México

# Índice

## AVISO LEGAL

## PRÓLOGO

Rosaura Ruiz

Bruno Velázquez

## I. INTRODUCCIÓN

### MEDIO NATURAL

Lucia Almeida-Leñero, Verónica Aguilar Zamora y Julieta Jujnovsky Orlandini

### CLIMA

María Engracia Hernández Cerda y Carlos Enrique Dobler Morales

### MEDIO SOCIAL

Julieta Jujnovsky Orlandini y Lucia Almeida Leñero

## II. BIODIVERSIDAD

### FITODIVERSIDAD EN EL SUELO DE CONSERVACIÓN Y LA ZONA RIBEREÑA URBANA DEL SUELO DE CONSERVACIÓN CONTRERENSE

Víctor Ávila-Akerberg, Beatriz González-Hidalgo, Rubén Salinas Galicia, Mariana Nava-López, Nihai Flores Galicia, Mónica Vázquez Medrano y Lucía Almeida-Leñero

### LAS ALGAS DEL RÍO MAGDALENA

Enrique A. Cantoral Uriza, Javier Carmona Jiménez, Rocío Ramírez Rodríguez, Yenny Beltrán Magos y Miriam G. Bojorge García

### ESTIMACIÓN DE LA RIQUEZA DE MACROMICETOS EN BOSQUES DE OYAMEL DE LA MAGDALENA CONTRERAS

José Luis Villarruel-Ordaz, Joaquín Cifuentes Blanco y Sergio Machorro Sámamo

### DIVERSIDAD DE CILIADOS (ALVEOLATA: CILIOPHORA) EN EL RÍO MAGDALENA

Isabel de la Caridad Ymas González, Alfonso Lugo Vázquez y María del Rosario Sánchez Rodríguez

LAS MARIPOSAS DIURNAS EN EL SUELO DE CONSERVACIÓN CONTRERENSE DE LA MAGDALENA CONTRERAS

Marysol Trujano Ortega, Moisés Armando Luis Martínez y José Nájera Carpio

ANFIBIOS Y REPTILES DEL SUELO DE CONSERVACIÓN CONTRERENSE

Andrés Alberto Mendoza-Hernández, Israel Solano-Zavaleta, Uri Omar García-Vázquez y Adrián Nieto-Montes de Oca

AVIFAUNA DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

Fernando Puebla-Olivares, Elsa Margarita Figueroa-Esquivel, Claudia Ivette Delgado- Ramírez, Héctor Carlos Olguín Monroy y Livia León Paniagua

MAMÍFEROS SILVESTRES DEL SUELO DE CONSERVACIÓN CONTRERENSE

Yire A. Gómez Jiménez, Héctor Olguín Monroy y Livia León-Paniagua

**III. PROCESOS ECOLÓGICOS Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

Julieta Jujnovsky Orlandini, Marisa Mazari-Hiriart, Gustavo Pérez Ortiz, Ma. Teresa Orta Ledesma de Velásquez, Isaura Yáñez Noguez

LA VEGETACIÓN BOSCOsa Y EL USO DEL SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

Víctor Ávila-Akerberg, Mariana Nava-López, Verónica Aguilar Zamora y Lucía Almeida Leñero

MUÉRDAGOS ENANOS: PLANTAS PARÁSITAS QUE AFECTAN EL BOSQUE DE *PINUS HARTWEGII* DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

Amabel Paula Hernández-Sánchez y Lucía Almeida-Leñero

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA Y DESCOMPOSICIÓN: DOS PROCESOS ECOLÓGICOS DETERMINANTES EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS BOSQUES DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

Guadalupe Barajas-Guzmán, Francisco Javier Álvarez-Sánchez, Ernesto Delgadillo Durán, Adrián M. Hernández Rojas, Kurt Unger, Julio Campo-Alves y Carolina Piña

EL BANCO Y LA LLUVIA DE SEMILLAS COMO FUENTES DE REGENERACIÓN NATURAL DEL BOSQUE TEMPLADO DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

Yuriana Martínez-Orea, Silvia Castillo-Argüero, Marco Antonio Romero Romero

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS HONGOS MICORRIZÓGENOS EN EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE PLÁNTULAS DE ÁRBOLES EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

Francisco Javier Álvarez-Sánchez, Juan Carlos Peña-Becerril, Dulce Y. Flores-Rentería, Diego Olivera-Morales, Irene Sandoval-González, Gema Galindo-Flores y Guadalupe Santiago- Martínez

EL VALOR INDICADOR DE LAS DIATOMEAS Y MACROALGAS BENTÓNICAS DEL RÍO MAGDALENA

Javier Carmona Jiménez, Rocío Ramírez Rodríguez, Miriam Guadalupe Bojorge García, Beatriz González Hidalgo y Enrique A. Cantoral Uriza

CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN DE LAS UNIDADES AMBIENTALES DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

Gabriela Santibáñez Andrade, Silvia Castillo-Argüero, Ma. Cecilia del Carmen Nieto de Pascual Pola, Yuriana Martínez Orea, Hugo Ariel Campos Hernández y Víctor Ávila-Akerberg

#### **IV. LA DIMENSIÓN HUMANA EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA**

CARACTERÍSTICAS HISTÓRICO-CULTURALES, TENENCIA DE LA TIERRA Y POLÍTICAS PÚBLICAS EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

Alya Ramos Ramos, Itzkuauhtli Zamora Saenz y Lucía Almeida Leñero

PLANTAS ÚTILES Y MEDICINALES DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

Amabel Paula Hernández-Sánchez, Yedith García Galván y Lucía Almeida Leñero

ARQUITECTURA SOSTENIBLE A TRAVÉS DE UN SISTEMA INTEGRAL PARA EL MANEJO DE AGUA EN EL RÍO MAGDALENA

Faustino Octavio Ruíz Abarca y Javier Carmona Jiménez

¿QUÉ SON Y CÓMO FUNCIONAN LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA?

Julieta Jujnovsky Orlandini y Lucía Almeida Leñero

PROPUESTA DE MANEJO DEL AGUA DESDE EL ENFOQUE DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

Julieta Jujnovsky Orlandini, Alya Ramos Ramos, Angela Caro-Borrero y  
Lucía Almeida Leñero

**Comentarios finales**

## PRÓLOGO

La Ciudad de México, siendo una de las más versátiles, dinámicas, diversas y entrañables del mundo, no puede ocultar en su fisonomía las huellas de una lamentable falta de visión estratégica, diseño y planificación en su urbanización. Estas huellas se traducen en déficits y problemáticas diversas (de seguridad, salud pública, sociales, de infraestructura y de servicios, entre otras) que se han ido agudizando con el tiempo debido a malas decisiones y brutalidades que sus gobernantes han realizado desde la época de su fundación colonial.

Lo anterior es aún más trágico, incomprensible y condenable si se piensa que la que hoy es la décima ciudad más poblada del mundo y la primera de todo el continente americano se erigió desde las ruinas de una de las ciudades históricas más bellas y admiradas por su locación geográfica y por su organización, el centro del imperio Azteca, la metrópoli de Tenochtitlán fundada en lejano 1325 y derruida por los conquistadores españoles en el aciago año de 1521.

Lo anterior no es en vano pues una de las características más emblemáticas y sobresalientes del asentamiento humano prehispánico en el Valle de México era el equilibrio y armonía que guardaba con el medio ambiente y el espacio que ocupaba, lo que permitía que sus habitantes aprovecharan (hoy diríamos sustentablemente) las riquezas y recursos naturales circundantes, además de que se vieran beneficiados de múltiples formas por el entorno privilegiado en el que se encontraban. Lo que sólo fue posible debido a la conciencia ambiental y al profundo respeto que las culturas mesoamericanas tenían hacia la Naturaleza, pero también gracias al sentido de responsabilidad, al talento, ciencia, sensibilidad estética y sentido social de sus urbanistas y gobernantes, entre quienes se encontraba, ni más ni menos, que el tlatoani-poeta Nezahualcóyotl, quizá la figura histórica más cercana al ideal del Rey-filósofo platónico.

De entre las muchas bellezas de esta metrópoli original desvanecida, pero que aún hoy pervive en forma de ruinas, trazos, barrios, toponimias, símbolos, cadencias, ritmos, oficios y prácticas culturales -lo que podríamos llamar, siguiendo una de las más hermosas analogías empleadas por Freud para ilustrar su teoría psicoanalítica, el “inconsciente



arqueológico de la Ciudad de México”- se cuenta como la más sobresaliente su hidrografía y su relación con las montañas y los volcanes que la protegían silenciosa y ubicuamente.

Llegados a este punto es que podemos referirnos propiamente a la excepcional investigación y trabajo colectivo que afortunadamente tenemos en este libro pues, además de un producto académico de la más alta calidad que muestra vehementemente la capacidad, talento y compromiso socio-ambiental de la comunidad científica y universitaria de la Facultad de Ciencias de la UNAM, también es una herramienta invaluable y sumamente pertinente por la solidez de sus análisis y la concreción de sus propuestas, para la puesta en marcha de proyectos y políticas públicas que sirvan para resarcir el daño ecológico y revertir en algo siglos de malas decisiones urbanísticas, de manera tal que se pueda recobrar uno de los valores intangibles y casi extintos de nuestra Ciudad de México: sus ríos, su biodiversidad multiclímática, sus bosques, sus montañas y su vocación lacustre; en este caso específico y como primer paso a la cuenca del río Magdalena, asegurando su buen estado de conservación y de salud en la actualidad y para el futuro.

Reconocer y felicitar profundamente, con orgullo y admiración profesional, a quienes se involucraron en este trabajo no sería suficiente sin realizar una breve y sucinta referencia a cada una de las etapas de este vasto estudio. Por ello me habré de permitir reseñar y comentar algunos de los numerosos puntos y datos aquí ofrecidos, para intentar dar una mirada de conjunto al tiempo de procurar ganar el interés de los lectores mediante una pequeña muestra de la inmensa riqueza científica que estas páginas resguardan. Pero antes de esto, es menester mencionar que una de las características más destacables del presente libro, que lo hacen un producto académico ejemplar y sumamente valioso, es que surge de un amplísimo esfuerzo colectivo, finamente coordinado y puntualmente armado, que a más de ser fruto del trabajo inter y trasndisciplinar obligado para el estudio de objetos, organismos, sistemas o fenómenos complejos, es también una obra colaborativa interinstitucional e internacional donde aconteció un intercambio en verdad fructífero y enriquecedor entre especialistas de la más alta calidad, no sólo de nuestra Facultad de Ciencias o de otras entidades de la UNAM, sino incluso de institutos y

nacionales de investigación y otras universidades mexicanas, incluida una extranjera. Lo que hace de este compendio de investigaciones y estudios minuciosos una verdadera enciclopedia científica sobre el río Magdalena y su entorno.

Es así que no son pocas las instituciones involucradas en el vasto, sistemático y extenso proceso científico, académico y editorial que fundamenta y se muestra en este trabajo. Por ejemplo, por parte de la Facultad de Ciencias de la UNAM participaron investigadores adscritos a diversos Departamentos y Laboratorios, entre los que se cuentan el Departamento de Ecología y Recursos Naturales y el Departamento de Biología Evolutiva, así como los laboratorios de Ecosistemas de Montaña, de Biología de Algas, de Entomología, de Herpetología, el laboratorio Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” y el Herbario. Por parte de otras entidades de la UNAM se cuenta con la participación de expertos del Instituto de Geografía, del Instituto de Ecología (Laboratorio de Ciencias de la Sostenibilidad), del Instituto de Ingeniería (Coordinación de Ingeniería ambiental), de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales (Departamento de Sociología), de la Facultad de Arquitectura (Unidad Académica de Arquitectura de Paisaje), de Facultad de Estudios Superiores Iztacala (Proyecto de Investigación en Limnología Tropical, UIICSE) y del Laboratorio de Ecología Acuática y Algas de la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, campus Juriquilla, Querétaro. Por último en este bemol, también están presentes el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, la Universidad del Mar-campus Puerto Escondido, Oaxaca (por medio de sus Institutos de Genética y de Industrias), la Universidad Autónoma de Tlaxcala (Centro de Investigación en Ciencias Biológicas) y la Universidad de la Habana, Cuba (Facultad de Biología).

En la presente colección de miradas y análisis encontraremos un sinfín de datos y evidencias que radiografían integralmente el estado en el que actualmente se encuentra la cuenca del río Magdalena (CRM) y su entorno. A lo anterior habrá que agregar que el aparato teórico-crítico que acompaña y entreteje la enorme cantidad de información recolectada, es de lo más completo y está enriquecido por muy valiosas reflexiones conclusivas que dan cierre a cada capítulo de forma redonda y abierta pues

señalan los pendientes y las oportunidades que se tiene para preservar, rescatar y rehabilitar este espacio privilegiado de la Ciudad de México.

Por todo lo anterior, decir que este trabajo de investigación es mucho más que sólo eso y que no es en lo absoluto impreciso ni exagerado, y esto se hace sentir desde la “Introducción”, signada por Lucia Almeida-Leñero, Verónica Aguilar Zamora y Julieta Jujnovsky Orlandini, donde de inicio nos vamos enterando de las ominosas consecuencias que tiene un proceso de urbanización desordenado en el ecosistema que alberga a una ciudad. Efectos adversos que deterioran, alteran y reducen significativamente los ecosistemas que dan vida a la cuenca de México, al tiempo que disminuyen los servicios que de estos obtenemos (protección de cuencas hidrológicas, captura de carbono, provisión de hábitat, producción de alimentos y la regulación de la calidad del aire y del clima, entre otros).

Resulta dramático y sumamente triste el hecho que se nos señala relativo a cómo los ríos de la ciudad comenzaron a ser vistos como un problema, más que un privilegio, para sus habitantes quienes, hay que decirlo, fueron corresponsables del deterioro y contaminación de los mismos. Lo que explica que, “hasta el día de hoy las políticas públicas aplicadas al respecto “se han enfocado a generar la infraestructura de expulsión de aguas pluviales y residuales y en menor medida a una estrategia de tratamiento, separación y re-uso del agua al interior de la cuenca, lo cual ha propiciado que ésta prácticamente se haya desecado.” Lo que resulta a todas luces absurdo y un contrasentido pues, como cualquier habitante de la Ciudad de México sabe bien, un problema constante y de alto riesgo de nuestra megalópolis es la disponibilidad y abastecimiento natural de agua, un problema que se ha agravado ya por la escasez del líquido, el incremento de la demanda por la explosión demográfica o por la contaminación de los mantos acuíferos que han sido sometidos a una extracción excesiva e insostenible.

Un dato relevante que aquí se nos devela es que “de las (148 342 ha) de superficie de la CDMX: 59 900 ha (41%) se considera Suelo Urbano (SU) y 88 442 (59%) Suelo de Conservación (SCCDMX), de las cuales poco menos de la mitad son bosques templados, otro tanto son áreas de uso agrícola y el resto pastizales y matorrales. Esta enorme área, de gran relevancia estratégica por su gran biodiversidad específica y ecosistémica,

por su alto porcentaje de endemismos y porque suministra servicios ecosistémicos indispensables para la ciudad, ha sido desaprovechada e incuestionablemente descuidada. Y es precisamente dentro de ésta que se encuentra la zona conocida como suelo de conservación Contrerense (SCC), una de las áreas mejor conservadas y con una buena representación de la vegetación templada del país que abarca cerca de 6 000 ha, e incluye a la cuenca del río Magdalena, que contribuye en gran parte al abastecimiento de agua superficial en la CDMX, y es el objeto de estudio de esta impecable y ejemplar investigación.

A lo largo de este voluminoso trabajo encontraremos estudios tan específicos, que podremos conocer de primera fuente los más recientes datos acerca, por ejemplo: del “Clima” de la SCC, que es diverso (en él se encuentran 3 tipos climáticos: templado, semifrío y frío) y que se nos describe de tal manera que nos permite tener una idea del comportamiento de la temperatura y precipitación de la zona, entre otras cosas; también se puede encontrar una “Breve historia de la cuenca del río Magdalena” que no es sino un estudio del medio social de la CRM, que nos demuestra que la importancia de la zona no se reduce al abastecimiento de agua y a su biodiversidad, sino también a la herencia cultural de varios siglos de historia de sus poblaciones. Sobre la “Fitodiversidad en el suelo de conservación y la zona ribereña urbana del suelo de conservación contrerense” podremos obtener datos tan asombrosos, como el que la zona estudiada registra una fitodiversidad de 121 familias, con 335 géneros y 610 especies (25% de la diversidad florística de la cuenca de México y 2.2% del total de la flora del país), de las cuales 75 especies son exclusivas de la zona de conservación. Dato que sin duda se convierte en una herramienta de gran utilidad en la búsqueda por lograr que la zona se considere un refugio para la conservación de la biodiversidad de la CDMX. Un estudio puntual sobre las “Algas del río Magdalena” nos presenta la relación de 112 especies de algas recolectadas en siete sitios a lo largo del SCC durante 8 años (1998- 2006), una colección que pasa a ser un patrimonio valiosísimo para futuros estudios y análisis; Hay también una “Estimación de la riqueza de macromicetos en bosques de Oyamel de La Magdalena Contreras”, fruto de un arduo trabajo de cuantificación de la diversidad de hongos macroscópicos que pueden

existir en dicho sitio tras comparar los resultados obtenidos de una serie de estimaciones a nivel nacional. Un dato relevante que sale de este estudio es que se calcula que existen cerca de 328 especies de macromicetos de las que se tienen ya 127 registradas, lo que significa que sólo se conoce el 39% del total de posibles especies presentes; El capítulo que investiga la “Diversidad de ciliados (Alevolata: ciliophora) en el río Magdalena” nos señalará la gran importancia de los protozoos ciliados para los ecosistemas de los ríos como factor de transferencia de energía y por su papel principal en el reciclaje y mineralización de los nutrientes; El trabajo acerca de “Las mariposas diurnas en el Suelo de Conservación Contrerense (SCC) de La Magdalena Contreras”, nos revela que en dicha zona se puede encontrar al 69% de la fauna de Papilionoidea de la CDMX y al 53% de la del Valle de México -de la cual 4% de las especies son endémicas al país-, pero quizá lo más valioso de este trabajo de campo es que nos reporta siete registros nuevos para la zona, de los cuales dos son nuevos también para el Valle de México (*Phoebis agarithe agarithe*, *P. philea philea*, *Dione juno huascuma*, *Dryas iulia moderata*, *Heliconius charithonia vazquezae*, *Calycopis isobea* y *Theclopsis mycon*) además de identificar que hubo especies que se reportaron hace 30 años y que no se registraron en años recientes; Sobre los “Anfibios y reptiles del SCC” la investigación sustentada en más de dos años de trabajo de campo -2006-2008-, nos presenta un listado que registra ocho especies de anfibios y 20 de reptiles que representan el 43% de la herpetofauna total de la Ciudad de México; Sobre la “Avifauna de la cuenca del río Magdalena” veremos que al día de hoy se cuenta con un registro de 127 especies pertenecientes a 10 órdenes, 36 familias y 93 géneros, de las cuales 98 especies, incluyendo endémicas y cuasiendémicas, son residentes, 24 migratorias, dos son transitorias y una accidental (*Setophaga tigrina*), siendo esta última un nuevo registro para la CDMX; De los “Mamíferos silvestres del SCC”, que son mucho más diversos de lo que se podría creer a pesar de haberse visto afectados por el crecimiento de la Ciudad de México, se presenta un registro total de 37 especies, de las cuales nueve son endémicas de México y tres se encuentran bajo alguna categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2010 (entre ellas se cuentan -por su nombre común-: mapaches, venados cola blanca, ardilla gris, zorrillos encapuchado, tuzas,

cacomixtles, tlacuaches, armadillos de nueve bandas, comadrejas, gatos montés, la zorra gris y varios tipos de murciélagos y de ratón). Hay también un estudio sobre la “Cantidad y calidad de agua en la cuenca del río Magdalena” centrado en conocer la cantidad de agua que se produce en esta cuenca, dónde se consume, cuál es su calidad y cuáles los factores que influyen en la alteración de la misma. A modo de conclusión, se nos dirá que el agua del río Magdalena es relativamente de buena calidad y que tiene posibilidad de usarse para consumo humano en la cuenca alta y media, pero que es de enorme importancia conservar el bosque y frenar los aportes de agua residual, así como controlar los asentamientos irregulares y el cambio de uso de suelo. No falta una descripción de “La vegetación boscosa y el uso del suelo de la cuenca del río Magdalena” donde se identifican tres tipos de bosques y se nos da a conocer las características de los mismos y sus comunidades, lo que resulta fundamental para la futura planeación de estrategias de manejo para la conservación y restauración de los servicios ecosistémicos del área. De los “Muérdagos enanos: plantas parasitarias que afectan el bosque de *Pinus hartwegii* de la CRM” se nos dirá que éstos representan uno de los principales problemas de degradación forestal en los bosques templados de México. Por lo que de forma muy acertada se recopila la información cartográfica para ayudar a las autoridades correspondientes a diseñar un programa de control y manejo de esta enfermedad. Hay también una investigación dedicada a los procesos ecológicos de “Productividad primaria y descomposición” que son determinantes para todo ecosistema y, en particular, en los tres tipos de bosque (pino, oyamel y encino) de la SCC. En lo que respecta al “Banco y la lluvia de semillas”, que son las fuentes principales de regeneración natural de los bosques, los resultados de la investigación nos indican que la SCC cuenta aún con un potencial de regeneración natural, pero esto no está exento de riesgos causados por los disturbios antropogénicos como la agricultura y la ganadería. Hay también un “Análisis del efecto de los hongos micorrizógenos en el crecimiento y supervivencia de plántulas de árboles de la CRM” que resalta la importancia ecológica que tienen los hongos micorrizógenos en los ecosistemas, y nos propone su uso como una herramienta en la restauración ecológica de sistemas deteriorados. El capítulo que se refiere a “El valor indicador de las diatomeas y macrolagas

bentónicas del río Magdalena” busca ser útil para la aplicación y desarrollo de leyes ambientales que regulen el manejo de cuencas, y es por ello que se traza el objetivo de caracterizar el valor indicador (IndVal) de los taxa de diatomeas y macroalgas para reconocer el estado ecológico del río Magdalena la “Caracterización de la vegetación de las unidades ambientales de la CRM” nos “provee las bases para diseñar, a diferentes escalas, estrategias de conservación y o restauración para cada una de la unidades ambientales de la CRM”. Uno de los estudios más vastos y amplios que se nos ofrecen es aquél sobre las “Características histórico-culturales, tenencia de la Tierra y políticas públicas en la CRM” que nos presenta una descripción histórica, que va desde la época mesoamericana y pasa por la colonia, el México independiente, la etapa revolucionaria y post revolucionaria, y hasta la actualidad, enfatizando en los principales usos que se le han dado a la zona y los actores sociales primordiales que han intervenido en su manejo, para ofrecernos elementos útiles y pertinentes que guíen a las futuras estrategias de manejo de la zona que, cabe esperar, no puede omitir considerar que en la toma de decisiones estén representados los diferentes actores sociales, principalmente los dueños de la tierra. Un capítulo sumamente interesante también, es el dedicado a las “Plantas útiles y medicinales de la CRM” pues, como se sabe, el saber y práctica ancestral de curar por medio de la herbolaria (un arte y una ciencia de la cual México es uno de los países más representativos a nivel global) se ha ido perdiendo debido, sobre todo, a que muchas comunidades humanas ya no mantienen un contacto directo con los ecosistemas, por lo que han perdido conocimientos tradicionales sobre su ambiente. Es así que este estudio documenta y ayuda a rescata el conocimiento respecto al uso de plantas vasculares nativas de la cuenca del río Magdalena (CRM) que incluye a la sorprendente y nada despreciable cantidad de 43 especies de plantas medicinales. No falta un capítulo dedicado a la “Arquitectura sostenible a través de un sistema integral para el majejo de agua del río Magdalena” que nace del compromiso por proveer soluciones concretas a la problemática ambiental, a través de la integración y colaboración de la ciencia, la tecnología y la sociedad, lo que en verdad enriquece a los ya de por sí plurales y muy diversos enfoques y propuestas hasta aquí presentados. Hay también una reflexión sobre “Qué

son y cómo funcionan los servicios ecosistémicos en la CRM” que es de lectura obligada para ver hacia donde apunta todo el esfuerzo realizado por los distintos investigadores y equipos de trabajo que se han involucrado en este trascendental proyecto. Por último, el recorrido cierra de forma excepcional y acertada con una “Propuesta de manejo del agua desde el enfoque de servicios ecoisistémicos en la cuenca del río Magdalena” que es la mejor forma de dar cierre a este libro, que no me cabe duda será una piedra de toque y un referente insoslayable no sólo para los proyectos y estudios futuros que tengan como objeto a la cuenca del río Magdalena y al Suelo de Conservación Contrerense, sino a generar propuestas para alcanzar la sustentabilidad en nuestra Ciudad capital, lo mismo que a quienes se dediquen a pensar la Ciudad de México y sus posibles horizontes, oportunidades, riesgos y escenarios futuros, incluida la posible y tan anhelada por muchos capitalinos “vuelta a la ciudad lacustre” que, no cabe duda, es uno de los proyectos más ambicioso y, quizá, también más necesarios y deseables para el futuro de nuestra entrañable Ciudad de México.

Pero, como dirá la sabiduría popular, primero habrá que dar el paso inicial aprovechando los recursos y voluntades con las que se cuenta, y eso pasa por trabajar en pro del rescate integral del río Magdalena y su cuenca, un proyecto que ya fue puesto en marcha -coordinado por el Programa Universitario de Estudios de la Ciudad de México (PUEC)- y que hoy se ve enriquecido, vigorizado y renovado gracias al increíble y fenomenal trabajo de las y los autores de este estudio imprescindible, pues ahora ya se cuenta con la base científica necesaria, suficiente y complementaria para ir por el rescate del río Magdalena que, como queda mostrado a lo largo de estas hojas, es también un laboratorio vivo lleno de riquezas invaluable para el quehacer científico, un santuario natural que debemos proteger no sólo por los recursos que guarda, sino por los servicios que nos otorga gratuitamente, y un valor intangible de nuestra ciudad al que nunca más habremos de volverle a dar la espalda.

**Rosaura Ruiz**  
**Bruno Velázquez**



# I. INTRODUCCIÓN

## MEDIO NATURAL

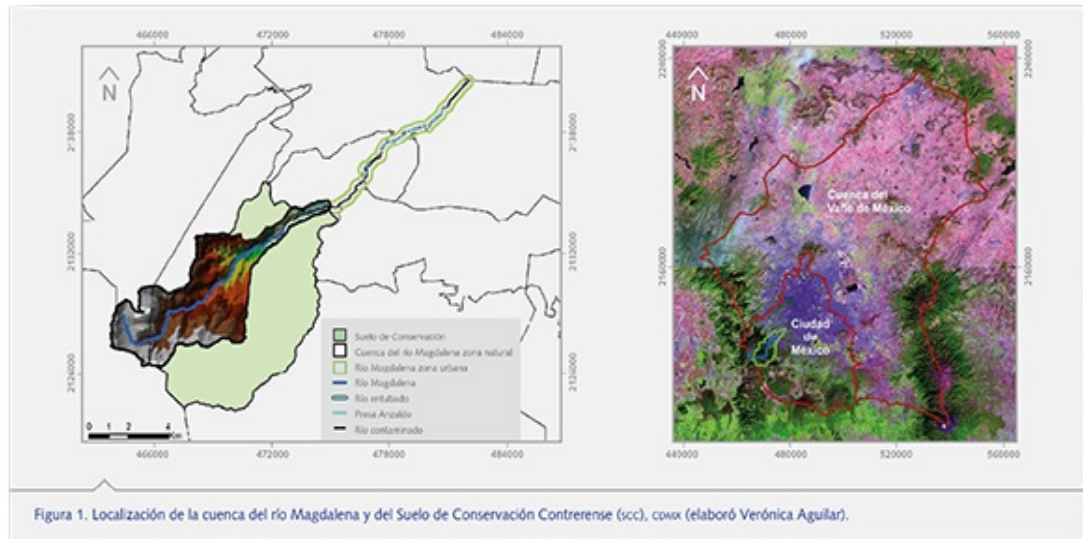
*Lucia Almeida-Leñero\**, *Verónica Aguilar Zamoray Julieta Jujnovsky Orlandini*<sup>1</sup>

El proceso de urbanización desordenado que, en las últimas décadas, ha tenido la Ciudad de México (CDMX), ha causado deterioro y/o alteraciones en el ambiente, así como disminución de los servicios ecosistémicos, provocado una reducción significativa de los ecosistemas de la cuenca de México. Esta situación se ve agravada por la necesidad de atender a una creciente población altamente demandante de servicios de calidad cada vez más difíciles de proveer.

La CDMX se sitúa dentro de una cuenca de origen endorreico, donde la disponibilidad natural de agua ha sido modificada por obras hidráulicas por más de cuatro siglos (González-Reynoso *et al.*, 2010). Históricamente, ha enfrentado graves problemas relacionados al abastecimiento de agua, debido a la escasez de este líquido en la cuenca, al incremento de la demanda por el crecimiento de la población y a la contaminación de los mantos acuíferos (Uitto y Biswas, 2000). El suelo de la CDMX presenta hundimientos diferenciales ocasionados por la extracción excesiva de agua que se inició en 1847 y se incrementó significativamente entre 1950 y 1960. Ante el crecimiento poblacional sostenido y la demanda de agua potable, se importan actualmente, caudales de dos cuencas externas, la del río Lerma, en el Estado de México y la del río Cutzamala en los estados de México, Guerrero y Michoacán (Ezcurra *et al.*, 2006; Ciudad de México, 2007; (González-Reynoso *et al.*, 2010), GDF, 2007). La decisión de traer agua de la cuenca del río Lerma, contribuyó al crecimiento de la urbe por encima de los límites físicos de la cuenca de México (Fig. 1); ya que para 1982, la demanda de agua de la ciudad era de 40 m<sup>3</sup>/s (Guerrero-Villalobos *et al.*, 1982) y, en 2008, ésta ya había alcanzado 67.7 m<sup>3</sup>/s (Sheinbaum, 2008).

A medida que avanzaba la urbanización de la cuenca de México, los ríos de la ciudad comenzaron a ser vistos como un problema para sus habitantes, tanto por cuestiones de salud por su contaminación, como de seguridad por las inundaciones que ocasionaban, ya que la mayoría de éstos eran objeto de descargas de aguas residuales, así como tiraderos de

basura (González-Reynoso *et al.*, 2010). Las políticas públicas aplicadas se han enfocado a generar la infraestructura de expulsión de aguas pluviales y residuales, y en menor medida a una estrategia de tratamiento, separación y re-uso del agua al interior de la cuenca, lo cual ha propiciado que ésta prácticamente se haya desecado.



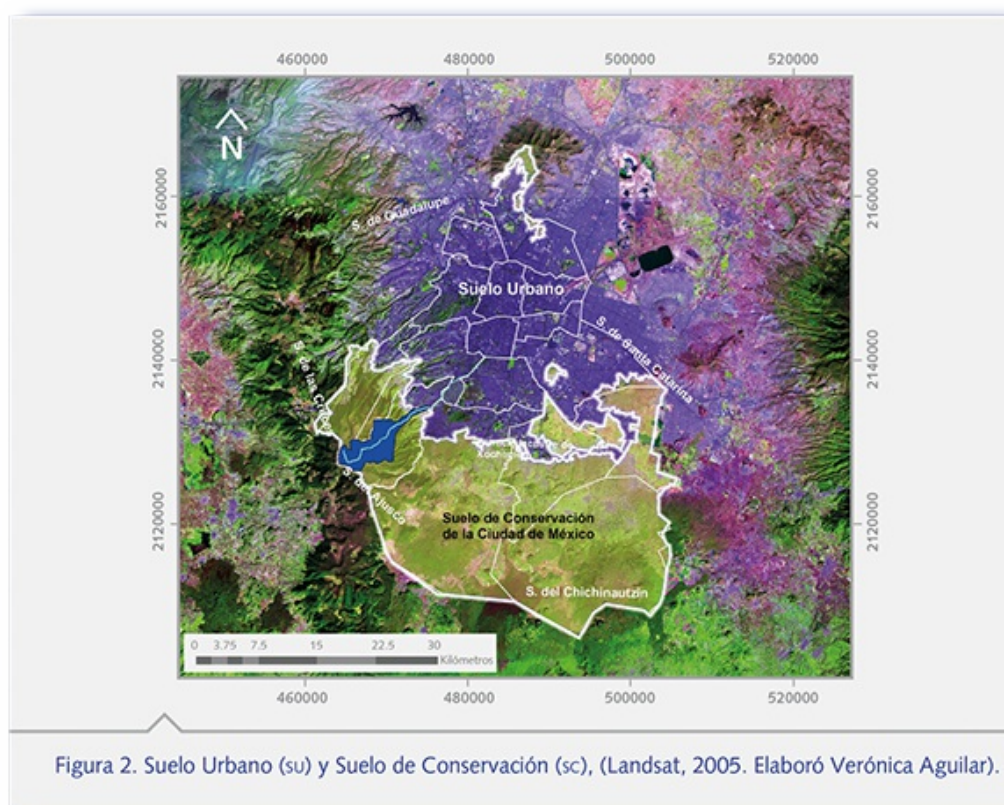
**Figura 1**

### ***Características del Suelo de Conservación de la CDMX***

Con el propósito de garantizar el abasto de agua, controlar el crecimiento urbano y mejorar las condiciones ambientales, las autoridades de la CDMX delimitaron administrativamente su superficie (148 342 ha) en: Suelo Urbano (SU) con 59 900 ha. (41%) donde se permiten actividades inherentes a la zona urbana y el Suelo de Conservación (SCCDMX); con 88,442 (59%) (GDF, 2012) de las cuales 38 252 ha son bosques templados, 28 599 ha áreas de uso agrícola, 10 937 ha pastizales y 500 ha de matorrales (SMA-SAGARPA, 2006).

El SCCDMX está delimitado al sur, por las sierras de las Cruces, del Ajusco y del Chichinautzin; al oriente incluye la sierra de Santa Catarina, la planicie lacustre de Xochimilco y el cerro de la Estrella; hacia el norte se extiende al territorio de la sierra de Guadalupe y el cerro del Tepeyac (Sheinbaum, 2008) (Fig. 2). Este territorio cuenta además con áreas naturales protegidas y zonas rurales con autorización para actividades forestales, agroforestales y agroecológicas<sup>2</sup>. Estos dos tipos de suelo (SU y SCCDMX) son interdependientes, por la continua expansión de los

asentamientos urbanos a las zonas rurales.



**Figura 2**

El SCCDMX tiene gran relevancia por presentar una gran biodiversidad específica y ecosistémica y un alto porcentaje de endemismos (Sanders *et al.*, 1979; Ceballos y Galindo 1984; Rzedowski y Rzedowski, 1989; UAEM-SMA-GDF, 2010); además, suministra servicios ecosistémicos indispensables para la CDMX (Almeida *et al.*, 2016). En particular, la vegetación arbórea cumple una función reguladora importante, ya que influye en la cantidad, la calidad y la temporalidad del flujo del agua, protege los suelos de la erosión, evita la consecuente sedimentación, contiene la degradación de los ríos y la afectación de los ecosistemas acuáticos (Cotler, 2004; Legorreta, 2006), asimismo, captura carbono y mantiene el microclima (Cram *et al.*, 2008).

Otra característica del SCCDMX es que en él se asientan los principales ejidos y comunidades de la entidad, con 700 000 pobladores (el 8% de la población total de la CDMX), los cuales viven en poblados rurales y núcleos agrarios legalmente constituidos (GDF, 2012) (Tabla 1).

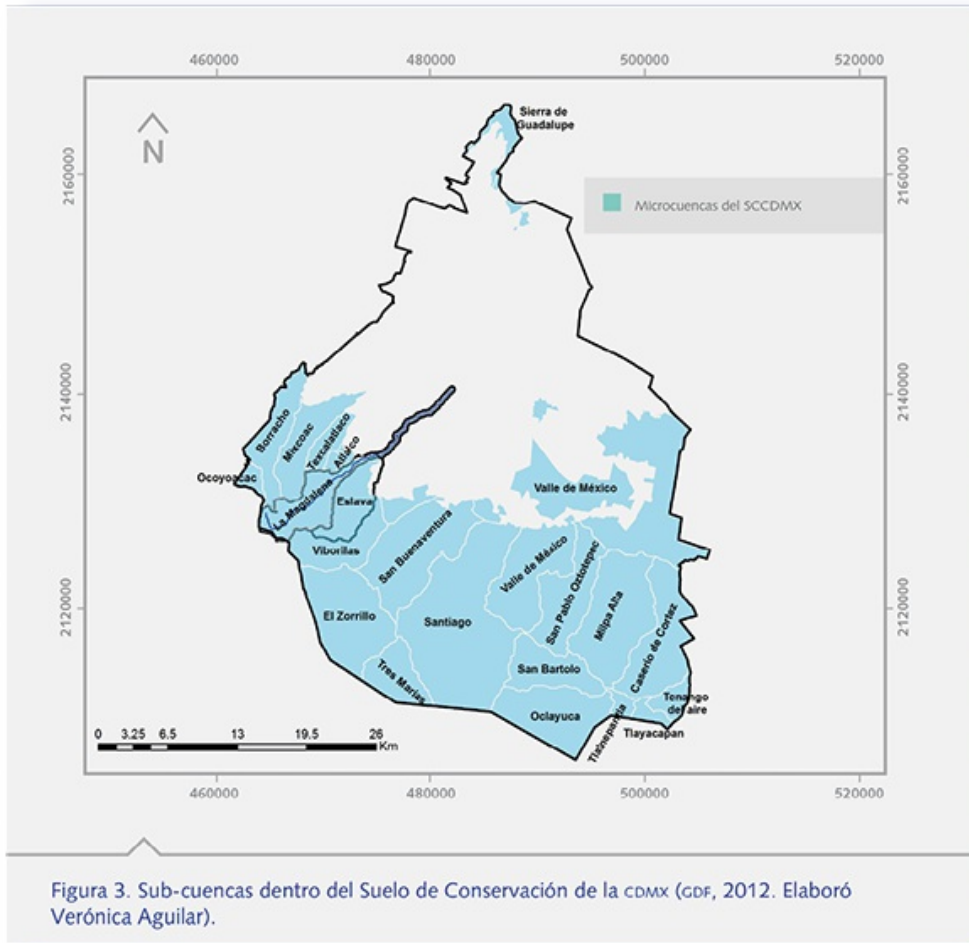
**Tabla 1**

Tabla 1. Características socioeconómicas del Suelo de Conservación, CDMX (elaboración propia).

Superficie total de la Ciudad de México	148,342 ha	8,851.080 millones de habitantes
Suelo Urbano	59,900 ha (41%)	
Suelo de Conservación	88,442 ha (59%)	
<b>Suelo de Conservación</b>		
Población	2.2 millones de habitantes 47 pueblos rurales 92 núcleos agrarios 5,196 ha	
Cobertura de bosque natural	42,228 ha	
Superficie transformada	46,214 ha	
Deforestación anual promedio	240 ha	

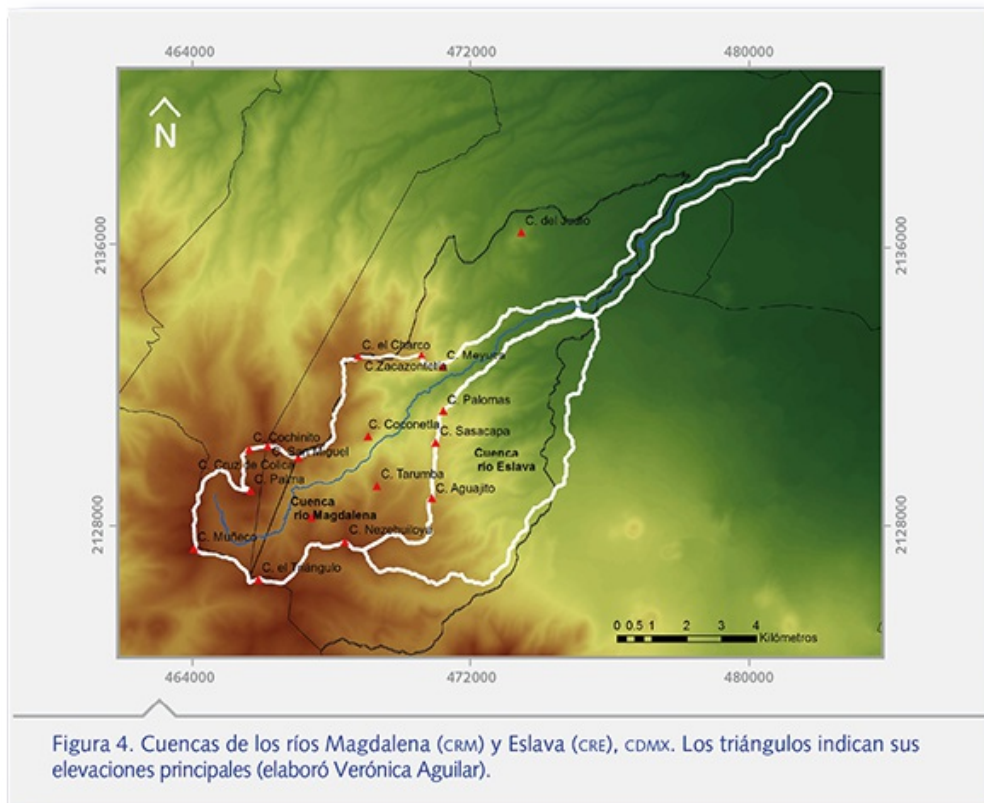
El SCCDMX no mantiene el mismo estado de conservación en toda su extensión; ya que algunas de sus áreas se ven dañadas en mayor medida por el crecimiento urbano en zonas rurales y periurbanas, la expansión agrícola, la tala clandestina y los incendios forestales (Ezcurra, 1990). De 1970 al 2005, el cambio de uso de suelo con la consecuente pérdida de la cubierta vegetal original, ocasionó una disminución del 10% del SCCDMX, estas áreas deforestadas equivalen al 7% de la extensión del área rural, lo que indica una afectación negativa y riesgosa a la sustentabilidad de la ciudad (Ezcurra, 2005; Ezcurra, *et al.* 2006).

Entre las áreas mejor conservadas, con una buena representación de la vegetación templada del país, son las cuencas que se localizan en la porción suroeste de la CDMX, zona conocida como Suelo de Conservación Contrerense (SCC); abarca cerca de 6 000 ha, incluye a las cuencas de los ríos Magdalena (CRM) y Eslava (CRE), entre las más importantes (Fig. 3). Abarca El Cañón Contreras o Los Dinamos, las partes altas de la cañada, el Parque San Nicolás Totolapan y la cuenca alta del río Magdalena, El 78% de su superficie corresponde a la delegación La Magdalena Contreras, mientras que en los parajes más altos forman parte de las delegaciones Álvaro Obregón (5%) y Cuajimalpa (17%).



**Figura 3**

Estas cuencas pertenecen a la provincia fisiográfica de la Faja Volcánica Transmexicana dentro de la sub-provincia de lagos y volcanes de Anáhuac (PMRM, 2008). Por sus estructuras volcánicas, presentan un marcado gradiente altitudinal con elevaciones que van hasta los 3 870 msnm en la parte alta (cerro el Muñeco) a los 2 570 msnm en el noreste (límite del área natural con la urbana). Se presentan varias elevaciones importantes como las de los cerros del Judío (2 770 msnm), Sasacapa (3 250 msnm), Tarumba (3 469 msnm) y el Panza (3 660 msnm) (Fig. 4).



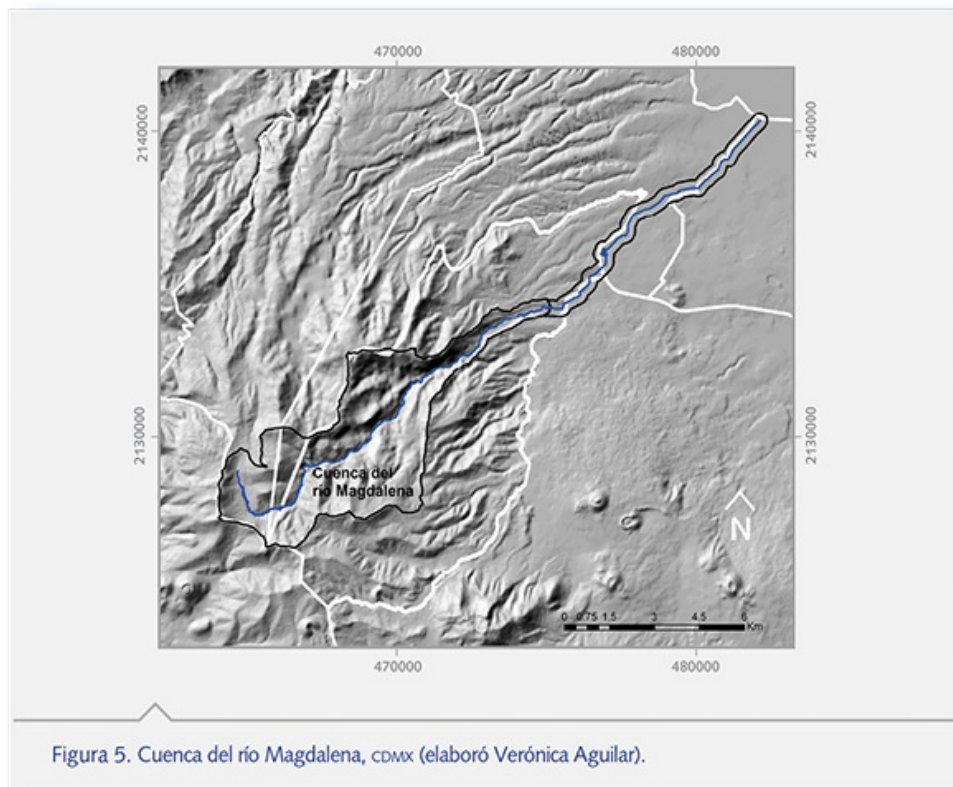
**Figura 4**

En esta zona toda actividad productiva está regulada, por lo que no se autoriza la expansión agrícola que implique desmonte, ni las plantaciones forestales comerciales. La colecta de productos forestales no maderables solo es permitida para autoconsumo (GDF, 2012).

### **Cuenca del río Magdalena**

Ocupa una superficie de 2 993 ha (30 km<sup>2</sup>) en su área natural, que corresponde con la “Zona Protectora Forestal Cañada de Contreras” decretada en 1932. Recibe diversos nombres, sin embargo, el más común ha sido el de los “Dinamos” que deriva de las plantas hidroeléctricas o Dinamos que se instalaron en 1897 y que funcionaron hasta 1950. Se localiza en la vertiente occidental de la sierra de las Cruces (Ontiveros, 1980; Álvarez, 2000), en el límite suroccidental de la CDMX dentro de la cuenca de México (Ávila-Akerberg, 2004; Jujnovsky *et al.*, 2010). Comprende parte de las delegaciones políticas de Cuajimalpa, Álvaro Obregón y La Magdalena Contreras (Fig. 5). El río Magdalena es su principal escurrimiento perene y contribuye en gran parte al abastecimiento de agua superficial en la CDMX (Mazari *et al.*, 2000 y 2001; Mazari-Hiriart y Mazari-Menzer, 2008). Este río forma parte de la

región hidrológica del río Pánuco, sub-cuenca Lago Texcoco-Zumpango, tiene su origen en las estribaciones del cerro de la Palma, en el paraje de Cieneguillas cerca de Puerta del Pedregal, a los 3 640 msnm, recorre los bosques con curso noreste. Colinda al sureste con la cuenca del río Eslava, al noroeste con las cabeceras de las cuencas de los ríos Hondo, Mixcoac, Barranca de Guadalupe y San Miguel, los cuales se unen al río Magdalena en la parte baja. Los afluentes que lo alimentan son de naturaleza distinta, en la parte alta de la cuenca, el río se nutre de manantiales y escurrimientos superficiales como los de: Cieneguillas, los Cuervos, San Miguel Ceresia, Temascalco, San José, Potrero, Apapaxtla, las Ventanas y Pericos (Álvarez, 2000) y su afluente más importante es el Acopilco (Ávila-Akerberg, 2010). En la ciudad se alimenta en un primer tramo de la mezcla de escurrimientos naturales con descargas de aguas residuales, así como del aporte del contaminado río Eslava. En la zona urbana, la red de drenaje es la que alimenta al río, al grado de convertirse en un caudal de aguas negras producidas por el sur poniente de la ciudad (PMRRE, 2008).

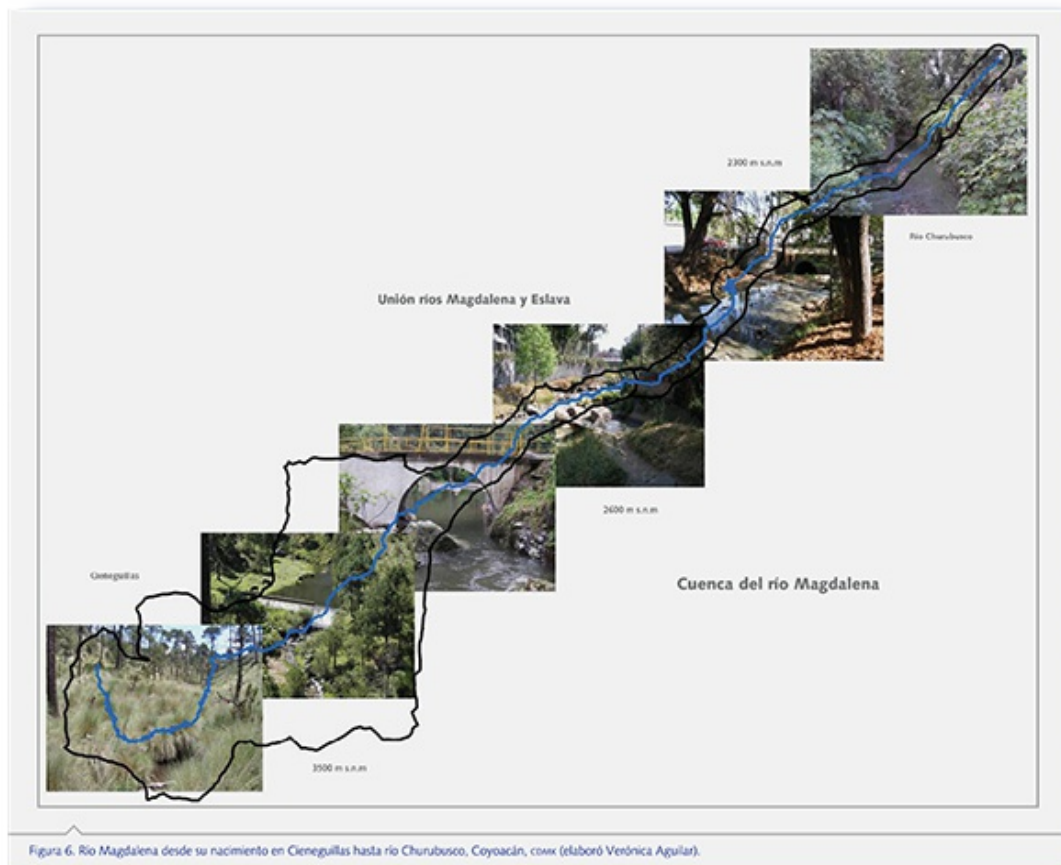


**Figura 5**

En su cauce se encuentran asentados Cuatro Dinamos, entre el Primer y Segundo Dinamo existe una planta potabilizadora que toma una porción



del agua con el fin de abastecer a una parte de la población de la delegación La Magdalena Contreras (Jujnovsky *et al.*, 2010). Posteriormente, el río entra a la zona urbana hasta llegar a la presa Anzaldo, a partir de ahí, es entubado y desemboca en el colector de la avenida Río Churubusco, en la zona de Panzacola y los Viveros de Coyoacán el río se encuentra a cielo abierto (Figura 6). Las aguas continúan su trayecto hasta desembocar en la cuenca del río Tula a través de los túneles artificiales de Tequisquiac (Álvarez, 2000). El cauce tiene una longitud aproximada de 21 600 m, de los cuales 11 000 m, aproximadamente 52.5% del río transcurre en área natural y 47.5% en área urbana (PUEC-UNAM, 2008).



**Figura 6**

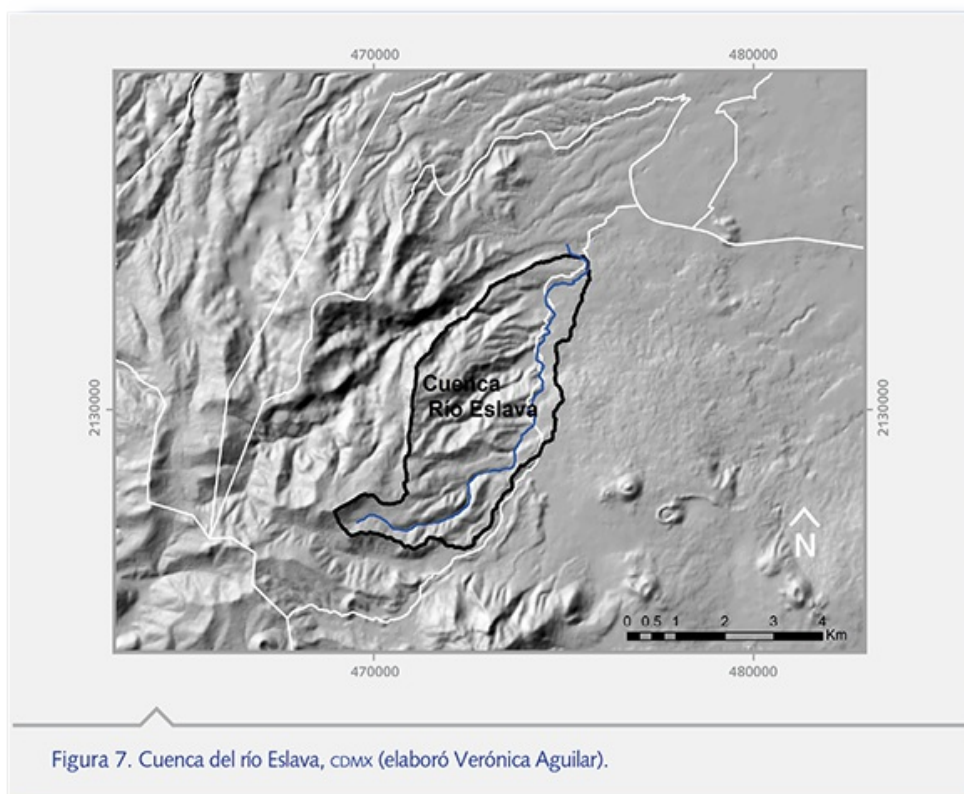
Otro fenómeno que caracteriza e influye en el cauce de este río es la marcada estacionalidad entre la temporada de lluvias y de secas, que origina cambios cíclicos importantes en la cantidad y calidad del agua. En algunos momentos de la temporada de secas, el río Eslava no confluye con el Magdalena, esta variación estacional también se nota en la presa Anzaldo que se llena durante la temporada de lluvias y se reduce

notablemente durante el estiaje.

En el área natural, el río Magdalena presenta condiciones relevantes, tanto para los ecosistemas, como para la realización de actividades de recreación. En cambio, en el área urbana, el río presenta aguas residuales y basura, que afectan especialmente a la población asentada a las orillas del río.

### **Cuenca del río Eslava (CRE)**

Por su parte, la CRE, está localizada entre las delegaciones Tlalpan y La Magdalena Contreras (Fig. 7). Presenta una superficie de 2 402 ha, donde se desarrollan actividades agrícolas y pecuarias. Las mayores elevaciones llegan hasta los 3 740 msnm. El escurrimiento más importante es el río Eslava con 13 km de longitud y es el afluente principal del río Magdalena. Se origina en la sierra del Ajusco a los 3 350 msnm, en el sitio conocido como “Las Regaderas” y se forma con los escurrimientos de los cerros Las Canoas, Taruma y Sasacapa, con aportes de las cañadas Agua Escondida y Atzoma (Legorreta, 2009).



**Figura 7**

La corriente desemboca con el río Magdalena en la parte urbana del

pueblo de Contreras (Fig. 8), en donde pierde su nombre. Cerca de las áreas urbanas se degrada por contaminación de desechos sólidos y descargas domiciliarias que contaminan el agua (PMRRE, 2008).



Figura 8. Unión de los ríos Magdalena y Eslava, comx. (Foto: Verónica Aguilar).

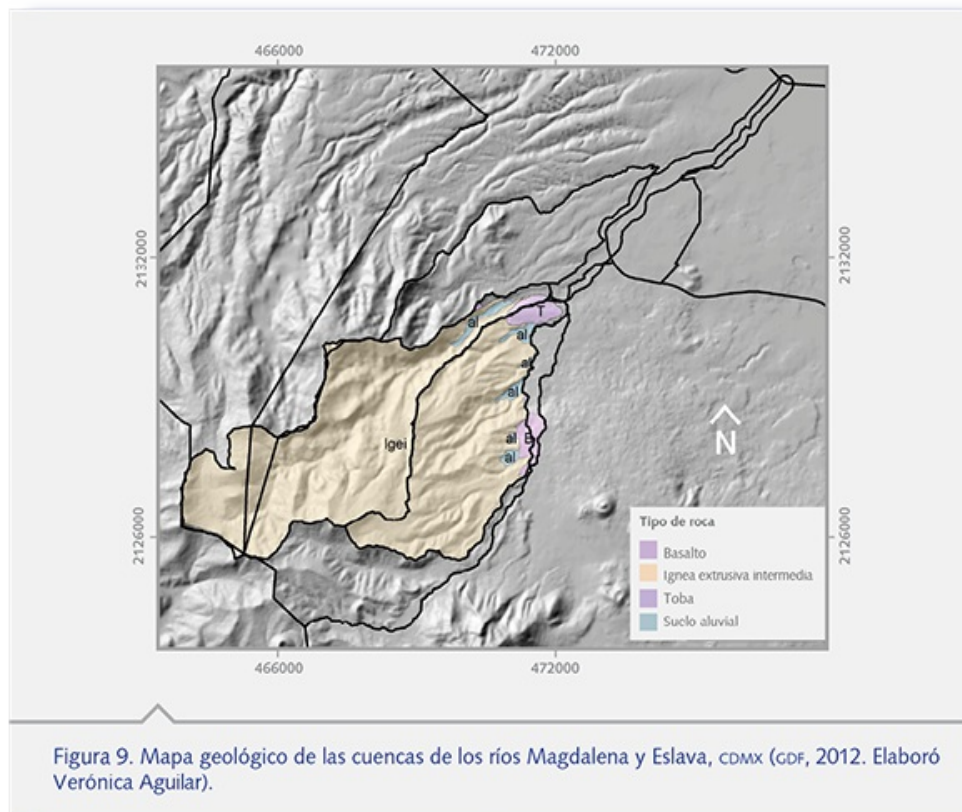
**Figura 8**

## **Geología**

Estas dos cuencas, presenta una complejidad geológico-estructural resultado de los fenómenos tectónicos y de los procesos de erosión y sedimentación que afectaron y modelaron el relieve hasta generar el paisaje actual. Conforman un conjunto de estructuras tecto-volcánicas muy accidentadas y de gran elevación con relieves escarpados, donde predominan particularmente las laderas con pendientes entre 12 a 25%, a fuertemente escarpadas con pendientes mayores del 75%. Este paisaje presenta elevaciones que oscilan entre los 2 400 y los 3 860 msnm, limitados en varios de sus bordes por escarpes profundos. Se presentan fracturas diversas localizadas en el oeste que han sido ocupadas por corrientes de los arroyos: Las Regaderas, El Agua Escondida y El Potrero (Álvarez, 2000). Tanto la estructura geológica de la sierra de las Cruces como las precipitaciones han permitido que la zona mantenga una

infiltración constante.

En las dos cuencas predominan rocas ígneas extrusivas, producto de manifestaciones volcánicas del Terciario y Cuaternario, destacando las andesitas, basaltos y dacitas (Álvarez, 2000; Castillo, 2003) (Fig. 9). Existe una diversidad de rocas volcánicas (domos y tobas), asociadas a la sierra de las Cruces, como las de la Caldera Santa Rosa-Judío, Caldera Ocotlal, Volcán Tres Cruces, Cráter de Explosión San Miguel. La mayoría pertenecen a la formación sierra de las Cruces y abarca parcialmente el grupo Chichinautzin, con depósitos de rocas poco consolidadas, arrasadas por vía fluvial y depositadas en los abanicos aluviales (Formación Tarango) en la parte baja de la cuenca 2 800 m de altitud (Álvarez, 2000).



**Figura 9**

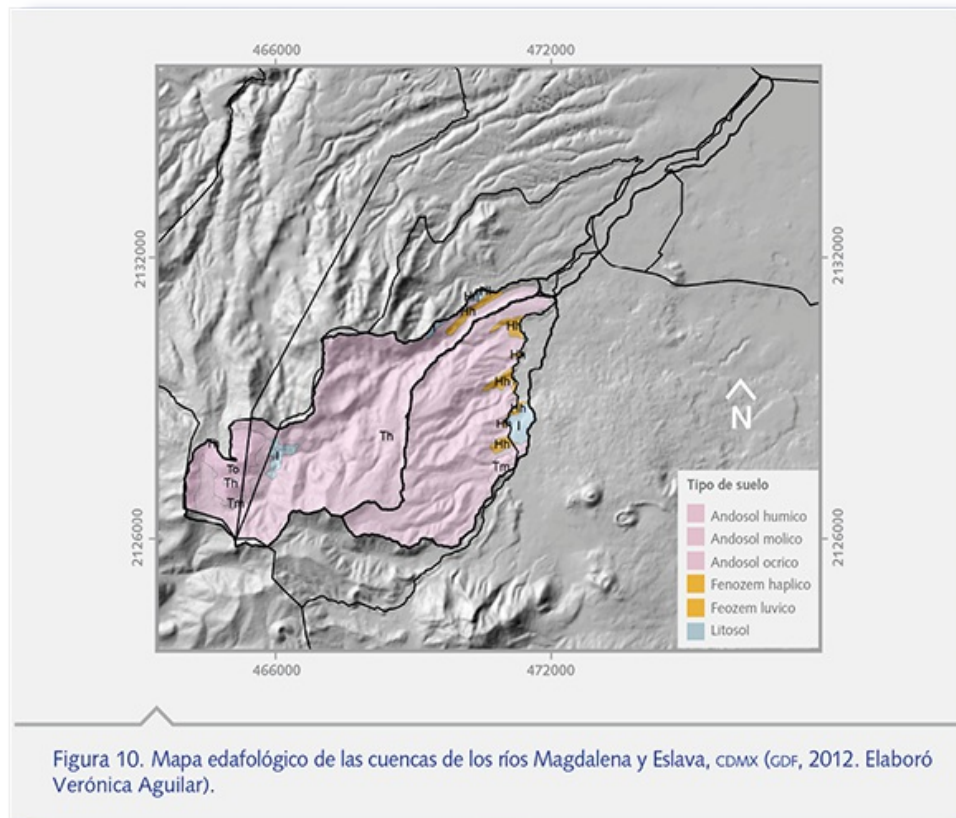
## Suelos

El material parental de los suelos de estas cuencas, se origino a partir de piroclástos no consolidados y de ceniza volcánica de espesor variado, que yacen sobre rocas ígneas intermedias, como andesitas y dacitas, o sobre rocas ígneas volcánicas piroclásticas consolidadas (tobas) (Leon, 2011). Están asociados al grado de alteración física y química de las rocas, a la

pendiente del terreno y a los procesos erosivos. Son de superficiales a muy superficiales, bien drenados, limitados por fragmentos de roca. Estas propiedades del suelo, así como las diferencias en temperatura y precipitación, son las principales causas que afectan a las propiedades físico-químicas del suelo, siendo la mayor parte de éstos no aptos para la agricultura (Leon, 2011).

Predominan los Andosoles, en su mayoría derivados de cenizas volcánicas; los cuales forman cárcavas y barrancos profundos y se encuentran principalmente sobre la superficie montañosa sobre lavas andesíticas y dacíticas (Castillo, 2003). Son suelos muy ligeros, con textura de migajón arenoso, migajón limoso, arena migajosa y franca, con predominancia de las arenas con una alta porosidad, lo que condiciona una permeabilidad alta y un drenaje rápido y moderado, su fertilidad es de moderada a alta (Leon, 2011). Son ligeramente ácidos ( $\text{pH} = 6.0 - 6.5$ ) de tipo húmico, pobres en nutrientes y extremadamente ricos en materia orgánica (INEGI, 2003; 2006). Fijan fosfatos y son muy susceptibles a la erosión hídrica y eólica (Álvarez, 2000). La parte superior está compuesta básicamente por hojarasca de pinos y encinos, Los subtipos encontrados son húmico, ócrico y mólico (Álvarez, 2000) y en algunos casos mezclas con Litosoles (Fig. 10), la profundidad varía de los 5 a los 50 cm, con un pH ácido (Jujnovsky, 2003). En las partes bajas de la cuenca presentan Andosoles húmicos de textura media limosa a franca arenosa.

Los Feozem se localizan en la parte más baja de la cuenca a lo largo del pie de monte y en los llanos de origen volcánico, donde la vegetación predominante es el bosque mixto con dominancia de *Quercus* spp. (encinos). Los Litosoles presentan un menor porcentaje de cobertura; se distribuyen en zonas localizadas en el noroeste, en superficies escarpadas, donde las características del relieve, como la pendiente, influyen directamente sobre la acumulación de los materiales edáficos y no han permitido el desarrollo de los suelos, presentan una profundidad menor a 10 cm y yacen sobre la roca. Se desarrollan en las pendientes mayores (12-20%) (Castillo, 2003).



**Figura 10**

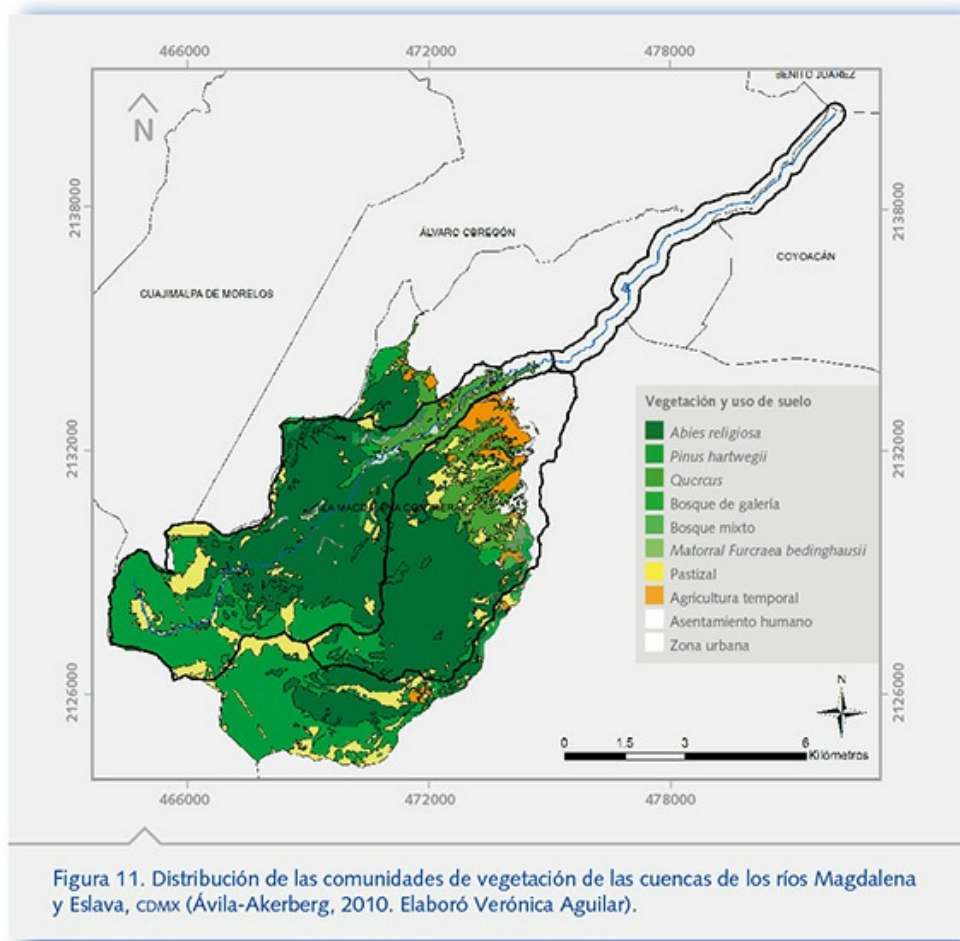
### **Características biológicas**

El área está comprendida en la Provincia Florística de las Serranías Meridionales, dentro de la Región Mesoamericana de Montaña (Rzedowski, 1978), en donde se presentan elementos holárticos y neotropicales, que forman un complejo mosaico de vegetación, dada su ubicación en la porción central de la Faja Volcánica Transmexicana.

Los bosques en la CRM están bien conservados (67%) (PUEC-UNAM, 2008) y corresponden principalmente a bosques de coníferas de acuerdo a la denominación de Rzedowski (1978). En la parte alta se presentan bosques de *Pinus hartwegii* Lindl. (pino), (3 200 a 3 850 msnm) y de *Abies religiosa* (HBK) Schlecht. (oyamel) en la media (2 800 a 3 600 msnm) y el bosque de *Quercus* spp. (encino), con distintas asociaciones de especies dentro de ellas (Ávila-Akerberg 2004, Nava 2003) y algunos elementos del bosque mesófilo de montaña en la zona baja (2 700 a 3 200 msnm), esta distribución está muy influenciada por la altitud (Nava, 2003; Ávila-Akerberg, 2004). Además, en la zona se pueden diferenciar bosques mixtos en los ecotonos de estos tipos de vegetación, así como algunos matorrales y pastizales naturales e inducidos (Rubio, 2010) y pueden verse

intercaladas áreas de cultivo, de pastoreo y matorrales (Ávila-Akerberg 2004).

En la CRE, el 71.3% del territorio está ocupado por comunidades forestales, siendo el bosque de *Abies religiosa* el que ocupa la mayor extensión (52%) (Fernández-Eguiarte *et al.*, 2002). Se presentan bosques de *Pinus montezumae* y *P. hartwegii* a una altitud superior a los 2 900 msnm y en las partes más bajas el bosque de *Quercus* spp. (Fig. 11).



**Figura 11**

Por su riqueza de plantas vasculares las dos cuencas han sido consideradas como un refugio de fitodiversidad (Ávila-Akerberg *et al.*, 2008) y en esta obra se presentan trabajos de plantas vasculares: Ávila-Akerberg *et al.*, de algas (Cantoral *et al.*) hongos micromicetos (Villarruel-Ordaz *et al.*). En el caso de la fauna se tienen trabajos de: ciliados (Ymas *et al.*) y mariposas (Trujano *et al.*) grupo que presenta en esta zona la mayor diversidad para toda la cuenca de México (Luis y Llorente, 1990). Además se describen a detalle en los capítulos siguientes

información de anfibios y reptiles (MendozaHernández *et al.*), aves (PueblaOlivares *et al.*) y mamíferos (Gómez *et al.*), las cuales se distribuyen de manera diferenciada entre los tres tipos de bosques.

Las cuencas del los ríos Magdalena y Eslava presentan bosques templados biodiversos y proporcionan servicios ecosistémicos importantes como: la protección de cuencas hidrológicas y la captura de carbono, tanto en biomasa aérea, como en el suelo (Nava, 2006; Galeana, 2008) la provisión del hábitat, la producción de alimentos, la regulación de la calidad del aire y del clima, servicios considerados como fundamentales para los habitantes de la Ciudad de México (Neitzel, 2013; Jujnovsky y Almeida-Leñero en esta obra).



## CLIMA

*María Engracia Hernández Cerda<sup>3\*</sup> y Carlos Enrique Dobler Morales*

Por su ubicación en el centro del país, esta zona queda incluida en la región climática Centro (García, 1997), la cual fue delimitada con base en la presencia de fenómenos meteorológicos dominantes, régimen pluviométrico y distribución anual de la temperatura. Esta zona pertenece al dominio de los vientos alisios del hemisferio norte. En verano, después de atravesar el Golfo de México, éstos se cargan de humedad para precipitarse en las laderas de la cuenca de México por el noreste, esta precipitación se origina por el enfriamiento que los vientos sufren al ascender por las vertientes montañosas; en invierno, los alisios se debilitan y la zona se ve influenciada por vientos secos del oeste, los cuales provocan la sequía característica de esa época del año. Por su latitud, la zona se localiza en la zona tropical, sin embargo, por su altitud, los climas varían de templados a fríos conforme se asciende por las laderas montañosas. Existe una fuerte influencia de la orografía sobre la temperatura, lo que explica la presencia de distintos tipos climáticos en una zona tan pequeña.

Para poder clasificar el clima según el Sistema Modificado por García (2004), se analizaron datos provenientes de distintas fuentes e instituciones (Tabla 2). Por la escasez de estaciones climatológicas en el área de estudio, ésta se amplió con el fin de abarcar 39 estaciones meteorológicas. Los promedios mensuales y anuales de datos de temperatura (máxima, media y mínima) y de precipitación, fueron procesados en EXCEL. Para el trazo de las isotermas, isoyetas y climas, se utilizó como base un mapa hipsométrico (curvas cada 50 m) con la ubicación de las estaciones, con el objeto de que se puedan relacionar las isolíneas con la altitud, con los efectos de la sombra meteorológica y con otros elementos del relieve.

**Tabla 2**

Tabla 2. Fuentes e instituciones de las estaciones meteorológicas empleadas (Dobler, 2010).

**Estaciones históricas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN):** las que han sido suspendidas, pero cuentan con datos mensuales no actuales de temperatura y precipitación. Sirven como información complementaria en el trazo de isolinéas.

**Estaciones de climatología computarizada (CLICOM), base del SMN:** concentra los datos de estaciones climatológicas que son operadas por diferentes instituciones.

Temperatura máxima y mínima, precipitación, evaporación, días con tormenta eléctrica, granizo, niebla, helada y cobertura nubosa a nivel diario.

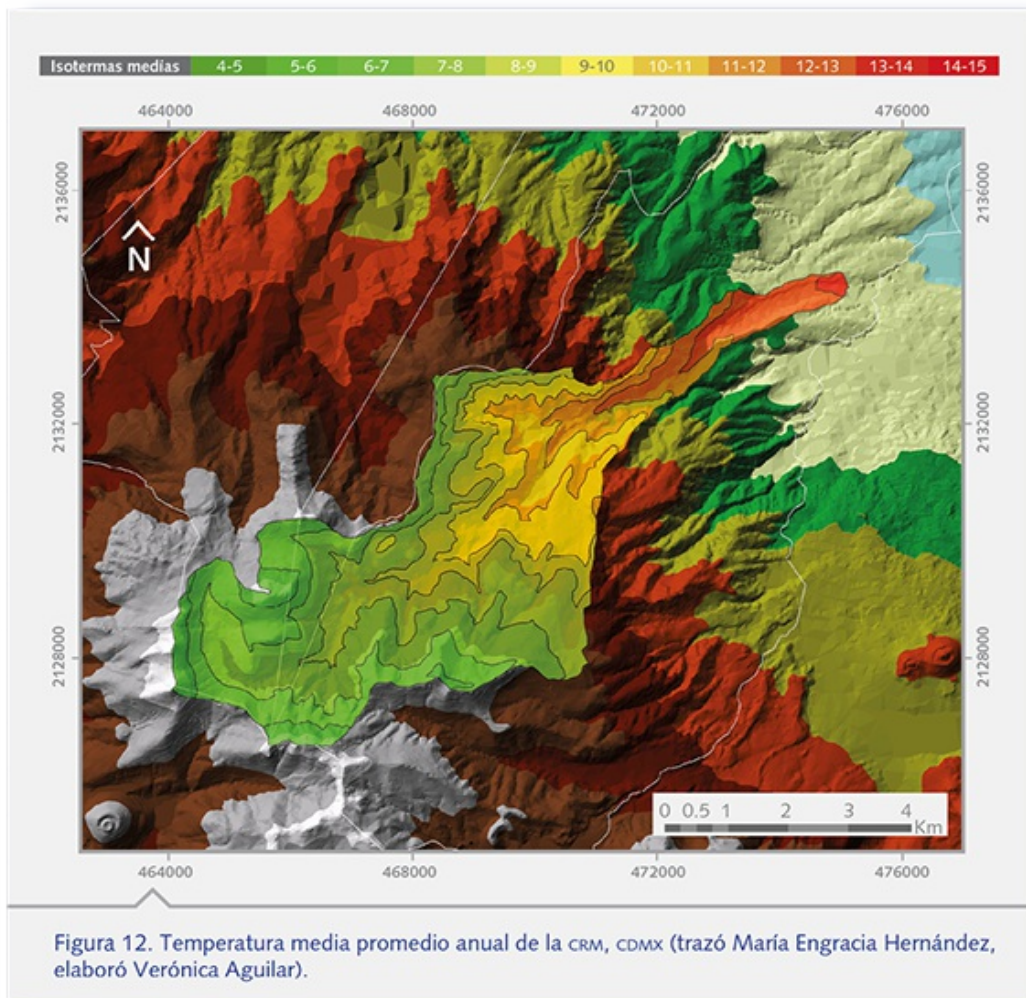
**Estaciones de Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET) del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT):** Temperatura media, máxima y mínima a nivel diario.

**Estaciones de la Subdirección de Macromedición y Control de Redes, instancia de la Secretaría de Medio Ambiente (SMA) de la Ciudad de México:** Precipitación a nivel diario.

**Observatorio del Colegio de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM):** Temperatura máxima y mínima, precipitación, evaporación, presión atmosférica, dirección y velocidad del viento, y humedad, cada tres horas.

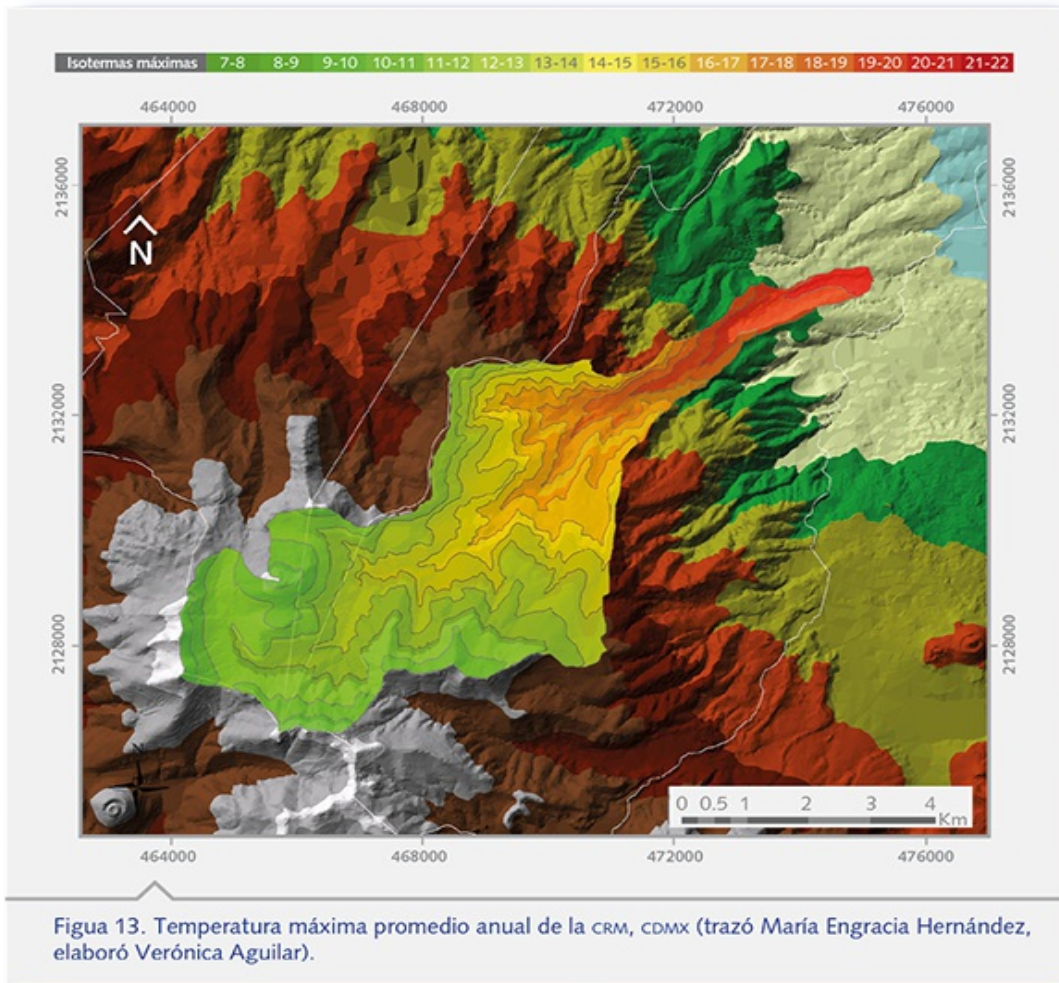
## Condiciones térmicas

El intervalo altitudinal de la zona comprende desde los 3 870 msnm del cerro del Muñeco, hasta los 2 470 msnm en la parte baja, en la unión con el río Eslava. Los valores de la temperatura media anual se encuentran entre los 5 y 14°C (Fig. 12). El 88% de la superficie presenta temperaturas medias menores a 12°C, (es decir, condiciones de clima semifrío según la subdivisión de pisos térmicos de García (1997). La isoterma de los 12°C se localiza aproximadamente a los 2 800 msnm. Por debajo de esta cota, la temperatura aumenta hacia el noreste (partes bajas), presentando condiciones de templado (12%). Por arriba de los 3 700 msnm, en los parteaguas del poniente, donde se ubican los cerros Palma, Muñeco y el Triángulo, que corresponden al 5% de la superficie de la cuenca se presentan condiciones frías con temperaturas menores a 5°C.



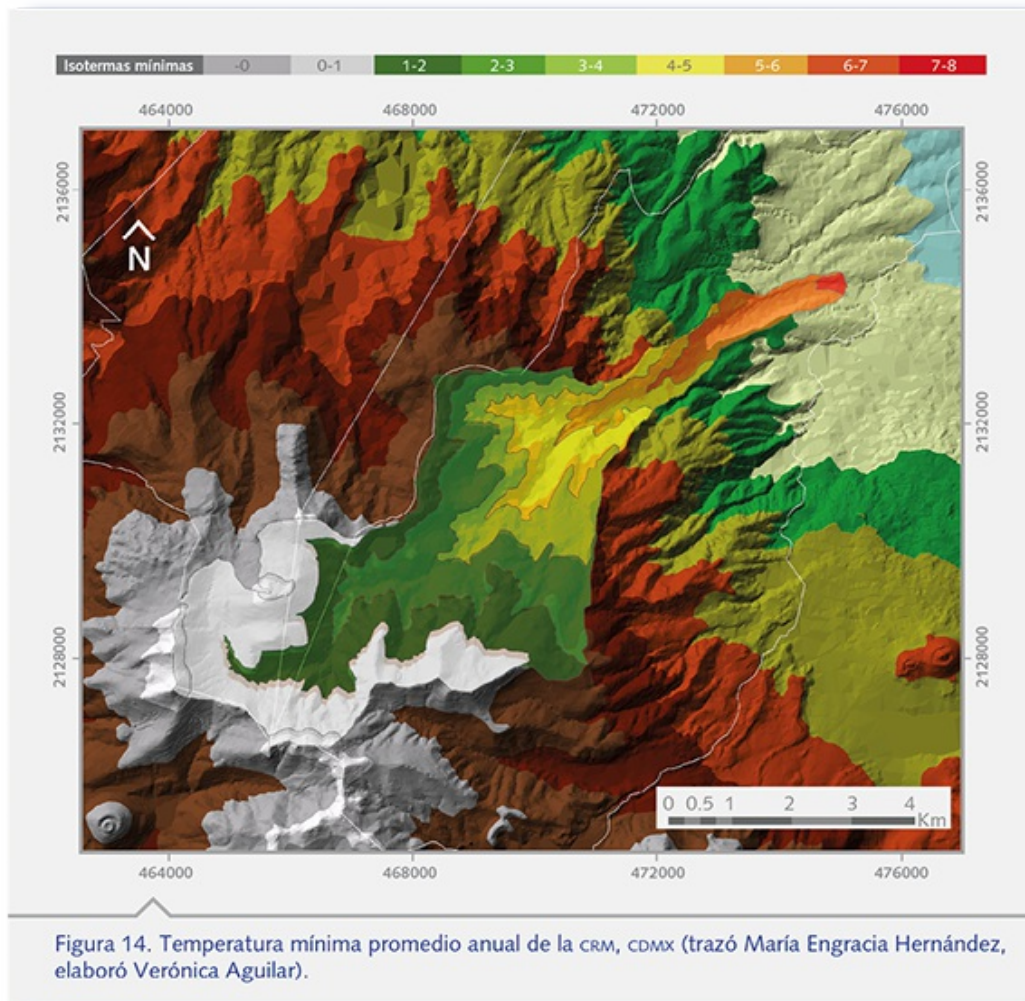
**Figura 12**

La distribución espacial de la temperatura máxima anual se muestra en la figura 13. En la parte baja del área estudiada se alcanzan temperaturas de 21°C (1.4%), mientras que en las más altas 9°C (4.2%), es decir, la variación térmica es de 12°C. Más de la mitad (54%) de la zona de estudio registra temperaturas máximas entre 10 y 14°C.



**Figura 13**

Con respecto a la temperatura mínima anual, como se observa en la figura 14 los valores más bajos son del orden de 0°C en las partes más altas. Aumentan hacia el noreste hasta alcanzar los 7°C en las zonas bajas, donde ocupan el 6.3% del área. Más de tres cuartas partes de la cuenca (78%), registra temperaturas mínimas promedio entre 0 y 4°C al año.



**Figura 14**

En general, la distribución de las isotermas sigue las curvas de nivel. Esto demuestra la fuerte influencia de la altitud en la temperatura, esta relación se da por la capacidad que tiene la superficie terrestre para transmitir calor al aire en contacto. En virtud de que a mayores altitudes existe una menor proporción de superficie, la acumulación y retención de calor es menor que en los valles y partes bajas. Por otra parte, la incidencia del relieve como factor de la temperatura no se reduce al efecto de la altitud, sino que se debe considerar también a través de la exposición u orientación, sistemas de pendientes e irregularidad del terreno.

Con respecto a la oscilación térmica en las partes bajas del área, la diferencia entre el mes más frío y el más cálido es de 5 a 7°C (poca oscilación). En las partes altas es menor a 5°C (isotermal). La razón por la cual la oscilación a lo largo del año es menor en las partes altas que en las bajas, es que se presentan más variables que alteran la temperatura a bajas

altitudes. Esto debido a la mayor cantidad de masa atmosférica en estas zonas, pues el aumento de ésta deriva en mayor variabilidad a lo largo del año. De igual manera, el movimiento (aparente) del sol en las diferentes estaciones no afecta de la misma manera la cima de una montaña que el fondo de un valle, pues en ciertas temporadas la radiación del valle se verá obstruida, mientras que en la montaña es más constante por no presentarse elementos que le impidan el paso.

La marcha anual de la temperatura en toda el área es de tipo Ganges, lo que significa que el mes más caliente se presenta antes de junio. El máximo de temperatura media es en el mes de mayo, como puede observarse en la gráfica de temperaturas de la estación climatológica Desierto de los Leones, localizada a los 2 270 msnm (Fig. 15), donde también se muestra que el mes más frío es enero y en donde la temperatura mínima extrema registrada en promedio alcanza valores negativos.

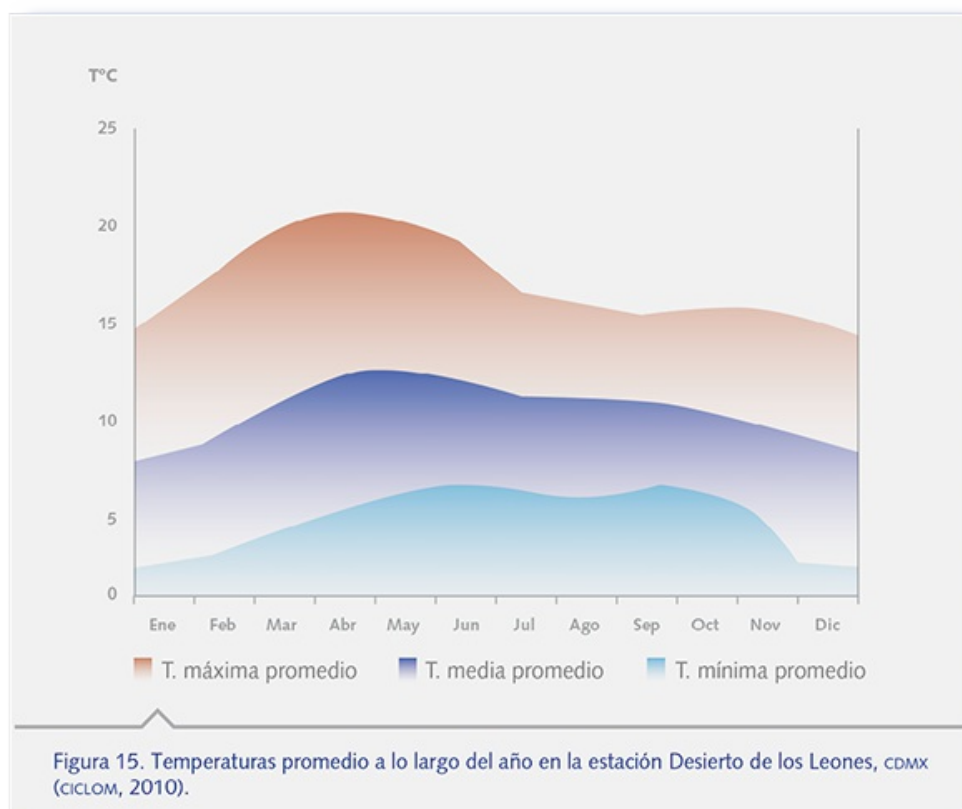
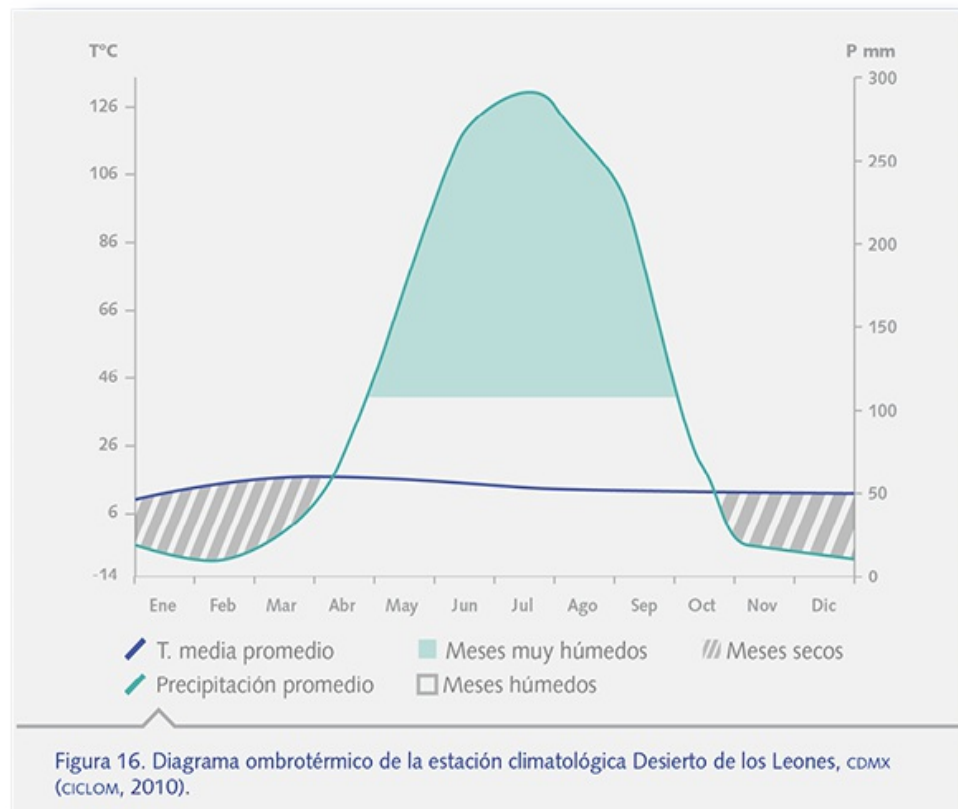


Figura 15

### Condiciones de humedad

El régimen de lluvias en la CRM es de verano con un porcentaje de lluvia invernal menor al 5%. La precipitación se concentra principalmente en los meses de mayo a octubre, donde se registra el 91% de lluvia con respecto a

la total recibida en el año. Esta aumenta con la altitud, con mínimos de 1 000 mm en las partes bajas y máximos de 1 500 mm en las cumbres más altas. El número de meses secos es de 5 a 6, y el de húmedos de 6 a 7, esto se muestra en el diagrama ombrotérmico de la estación climatológica del Desierto de los Leones (Fig.16).



**Figura 16**

La distribución espacial de la precipitación total anual se muestra en la figura 17. La cantidad de lluvia recibida fluctúa entre 900 y 1 300 mm anuales. Los valores superiores a 1 300 mm se registran sobre la ladera oriental de la sierra de las Cruces, en las altitudes medias de la zona, esta ladera abarca más de la mitad de la superficie de la cuenca (52.1%). En la ladera noreste se reciben menos de 900 mm, hacia las partes más altas los valores de precipitación están entre 1 000 y 1 100 mm, comprenden un área de 25.1%. El hecho de que el máximo de precipitación no coincida con el máximo de altitud representa un fenómeno bien documentado (García, 1965, Hernández *et al.*, 2007). Los factores que determinan la variación no lineal de la precipitación con la altitud son: la temperatura del aire y cómo varía con la altitud, la cantidad de humedad en el aire, la variación vertical del viento y cómo sopla el viento en la montaña

(Leuschner, 2000). En el caso de la CRM, se puede inferir que las masas de aire húmedo provenientes del noreste se elevan por efecto orográfico al encontrarse con la sierra de las Cruces; esto resulta en una disminución en su temperatura, así como en su capacidad de contener humedad (punto de saturación), por lo que se condensa y precipita antes de alcanzar las altitudes máximas (Sevruk, 1997).

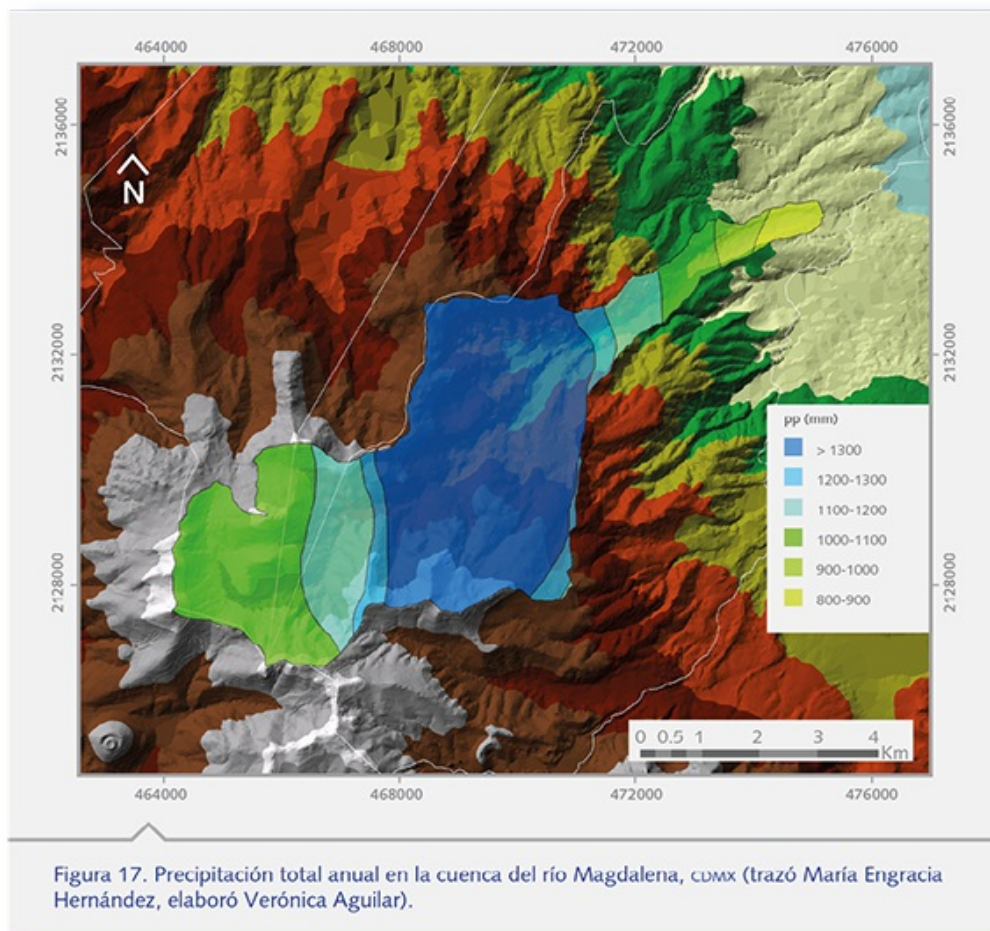


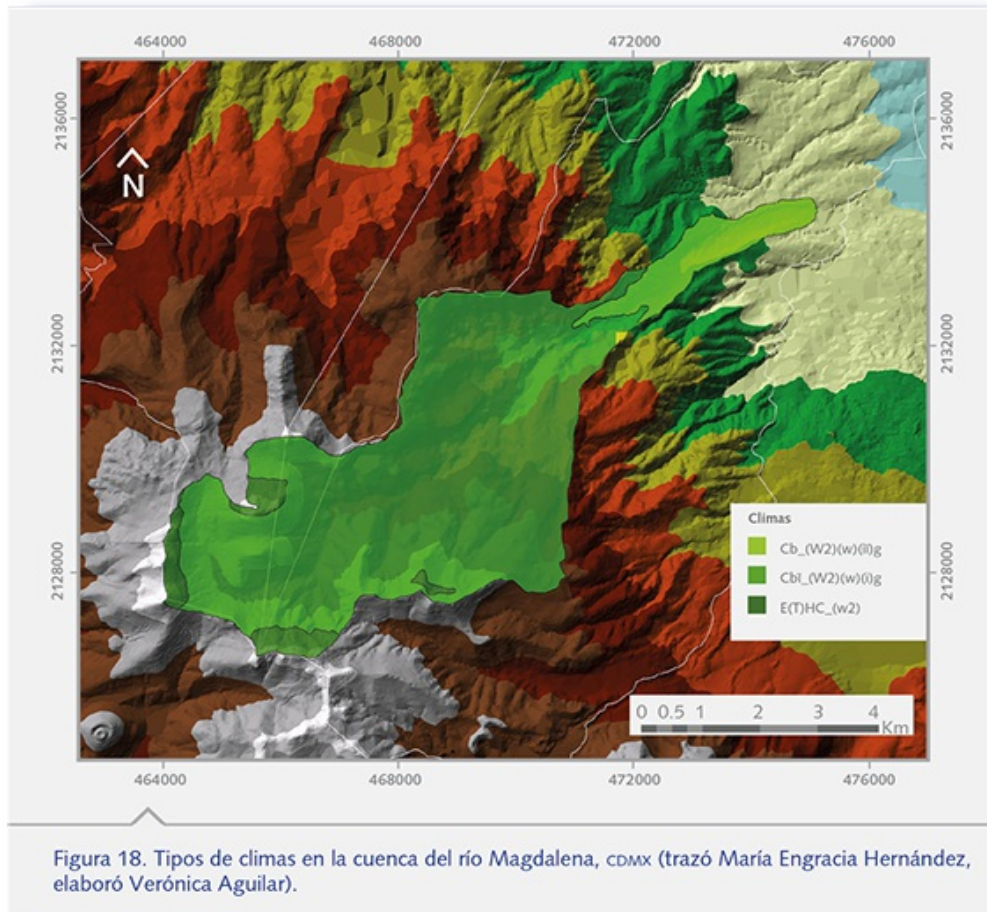
Figura 17

## Tipos climáticos

En la cuenca se tienen los climas templado, semifrío y frío, los cuales están definidos por sus condiciones térmicas (Fig. 18). Toda el área se caracteriza por ser subhúmeda, pero dentro de la categoría de los más subhúmedos (w2)(w). Como es de esperarse, en la parte baja, en el extremo noreste, se presenta el tipo templado [Cb (w2)(w)], abarca el 8.3% de la cuenca. La mayor parte del área (86.4%) se caracteriza por tener clima semifrío [Cb' (w2)(w)]. En las partes más altas se registra el clima frío [E(T)HC (w2)], ocupa sólo el 5.3% de la cuenca. Debido a que este



último tipo se presenta en México por altitud y no por latitud, se agrega la letra “H” a la fórmula climática. El símbolo “(i’)” del clima templado corresponde a la poca oscilación térmica de las partes bajas. La “i” del semifrío corresponde a la isothermalidad del resto del área. La “g” representa la marcha anual de la temperatura tipo Ganges.



**Figura 18**

Las condiciones climáticas que se han descrito para la zona permiten tener una idea del comportamiento de la temperatura y precipitación, elementos climáticos que más influyen en la configuración del medio natural. El haber incluido en el estudio las temperaturas máximas y mínimas, posibilita una visión más amplia de este elemento tan significativo en la zona de estudio y en donde los factores climáticos, orográficos y de altitud son determinantes en el comportamiento de este parámetro.

## MEDIO SOCIAL

*Julieta Jujnovsky Orlandini\** y *Lucia Almeida Leñero*<sup>4</sup>

### **Breve historia de la cuenca del río Magdalena**

La importancia de esta zona no se reduce al abastecimiento de agua y al mantenimiento de la biodiversidad, sino que se extiende al desarrollo de las poblaciones que habitan en ella. En el pueblo de la Magdalena, localizado en la porción más baja de la cuenca, existe una herencia cultural que se remonta a varios siglos de historia. En 1526 llegó el grupo de los Dominicos para contribuir en la labor evangelizadora, estableciéndose en Tenanitla (hoy San Ángel). Ellos fueron quienes fundaron el templo encumbrando a Santa María Magdalena, por lo que a la comunidad se le llamó Magdalena Atlitic (Fig. 19). Sin embargo, con el paso de los siglos se fue olvidando el nombre autóctono hasta mencionarse solamente “La Magdalena” (González, 2005).



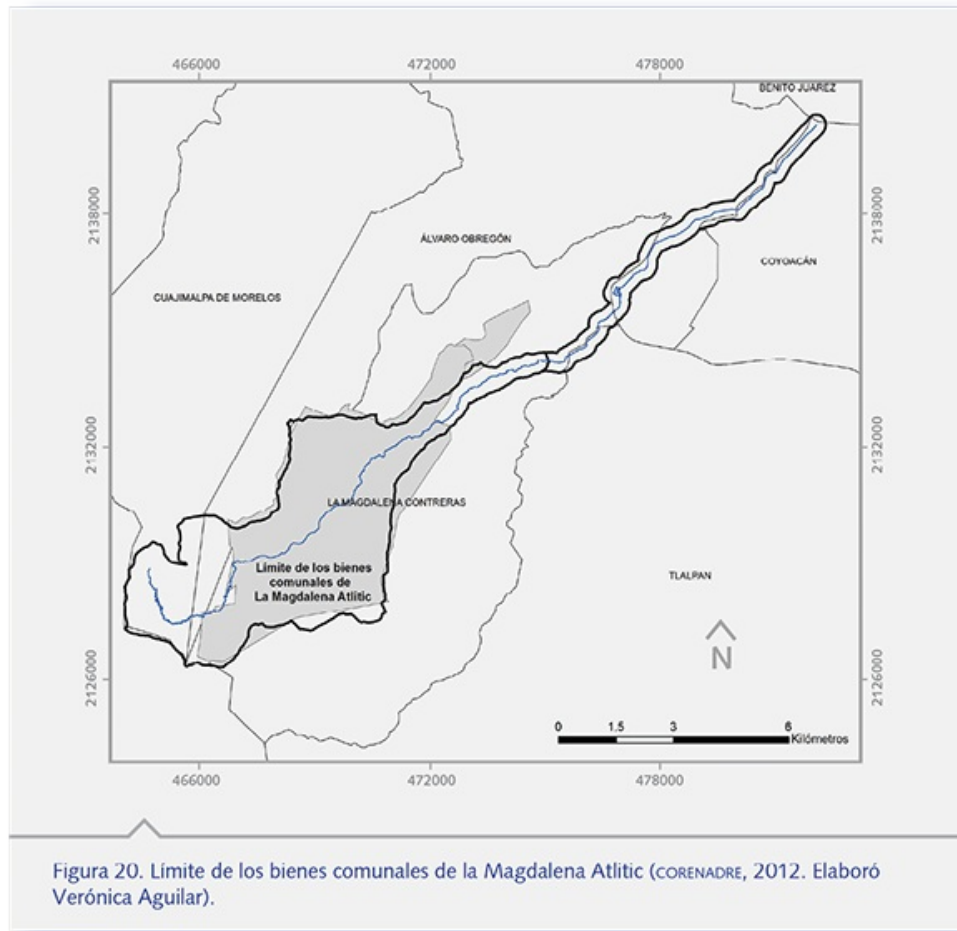
**Figura 19**

Hacia el siglo XX, empresarios extranjeros llegaron a invertir en la industria textil y establecieron fábricas de hilados, como la de “La

Magdalena” y se fundaron las fábricas “El Águila” y “Santa Teresa”. Las características geográficas de la región facilitaron el establecimiento de plantas escalonadas o Dinamos, los cuales abastecían de energía hidroeléctrica a las fábricas. Así, la industria textil fue un detonante para que surgieran las primeras colonias de obreros en la zona.

En la década de los años cincuenta, la zona mantenía una mezcla de actividades rurales e industriales. Sin embargo, en la década siguiente alcanzó un notable crecimiento debido a la prolongación del anillo periférico. Los asentamientos irregulares se extendieron hasta las tierras altas del suroeste, como San Bernabé Ocoatepec, La Magdalena Atlitic y San Nicolás Totolapan. Este crecimiento se acentuó en los años setenta con el establecimiento de nuevas colonias y fraccionamientos, la mayoría irregulares, tales como “Del Toro”, “Lomas Quebradas”, “El Rosal”, “Potrerillo”, “La Carbonera” y “Las Palmas (Facultad de Arquitectura-UNAM, 2008).

En 1975, treinta años después de que los pobladores de La Magdalena hicieron la petición de las tierras comunales, se logró “el reconocimiento y titulación de bienes comunales, otorgándose a un grupo de 1 779 comuneros beneficiados, una superficie de 2 293 ha de terrenos comunales, lo que corresponde casi en su totalidad a los límites hidrográficos de la cuenca (Fig. 20).



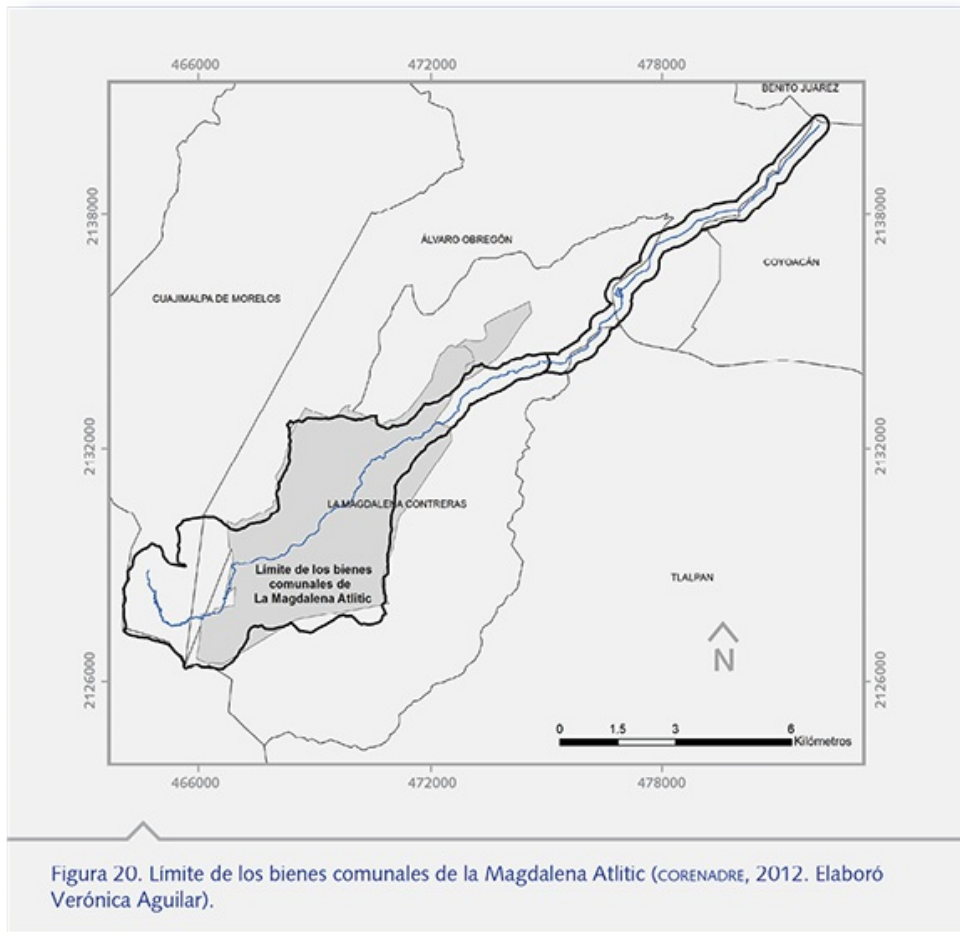
**Figura 20**

### **Problemas ambientales y sociales**

Actualmente, la zona presenta diversos procesos de deterioro. Uno de los más importantes es la pérdida de cobertura vegetal derivada de la tala clandestina, la cual se da principalmente hacia los límites comunales (Nava, 2006). Por otra parte, la ganadería se desarrolla de forma desordenada esencialmente en la zona media y alta, mientras que la agricultura se da en la parte baja de la cuenca en forma artesanal (Instituto de Geografía-UNAM, 2008) (Fig. 21). Otro factor que pone en riesgo a los ecosistemas son los incendios forestales, éstos se presentan con mayor frecuencia en las comunidades de *Pinus hartwegii* y de *Abies religiosa* (Flores, 2006; Almeida-Leñero *et al.*, 2007; Facultad de Ciencias-UNAM, 2008).

En la zona se desarrollan diversas actividades económicas, algunas de las cuales provocan fuertes impactos en el ambiente. Por un lado, el incremento de las actividades de recreación no controladas representa un

problema, ya que no existen restricciones en cuanto al número de personas que ingresan desde la parte baja hasta la parte media de la cuenca, que es la zona más visitada. Aunado a ello, no hay suficiente vigilancia y control sobre las actividades que realizan los visitantes y las áreas a las que pueden ingresar (Fernández-Eguiarte *et al.*, 2004).



**Figura 21**

### **Incremento de la urbanización**

A pesar de que la zona se localiza dentro del SCCDMX, la urbanización ha aumentado considerablemente en los últimos 50 años. En la década de 1950, ésta se daba únicamente en las partes bajas de las cuencas de San Ángel y en la Barranca del Rosal, pero para 1980 ya había crecido hacia las cuencas de los ríos Magdalena y Eslava, y una pequeña fracción del Santo Desierto. En la década de 1970, la delegación La Magdalena Contreras creció diez veces más que en el resto de la CDMX. Este crecimiento exponencial hizo que las viviendas se ubicaran principalmente en parcelas de cultivo colindantes a las zonas boscosas (Fernández-

Eguiarte, 2002). El avance de la mancha urbana hacia las partes más altas de las cuencas del suroeste continuó hasta el año 2000 y, para el año 2005, a pesar del decreto del ordenamiento ecológico de la CDMX, los asentamientos irregulares se han expandido, lo que ocasiona un cambio de uso de suelo por su cercanía con la Ciudad de México (Ramos, 2008). Estos asentamientos, al no contar con servicio de drenaje, han propiciado que las descargas residuales sean vertidas directamente al río Magdalena (Fig. 22).



**Figura 22**

Un problema que subyace a los demás es la falta de definición legal de la zona para fines de conservación. Existe un acuerdo de 1932 que declara como Zona Protectora Forestal a los Bosques de la Cañada de Contreras; este acuerdo establece una superficie de 3,100 ha protegidas. En 1947, mediante un decreto presidencial, se declara Zona de Protección Forestal del río Magdalena a una franja de 12 km de longitud desde el nacimiento del río, hasta aguas abajo en el área urbana, cubriendo 500 m a cada lado del cauce (1 200 ha en total). Finalmente, el Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal, publicado oficialmente en el año 2000, contradice el acuerdo y el decreto mencionados, ya que establece como Área Natural Protegida una superficie de 215 ha con categoría de Zona Protectora Forestal, la cual abarca desde el Cuarto Dinamo hasta el inicio de la mancha urbana. A raíz de esta indefinición legal ha resultado muy confusa la administración y regulación de la zona (Almeida-Leñero *et al.*, 2007; Almeida-Leñero y García, 2010).

Los conflictos por la tenencia de la tierra, también constituyen un problema para la conservación del área natural. La CRM no es la excepción, a pesar de que casi toda la superficie pertenece a la comunidad agraria Magdalena Atlitic, existen dos litigios importantes: hacia el sur se disputan 693 ha entre la Magdalena Atlitic y el ejido San Nicolás Totolapan, mientras que en la parte alta, se litigan 357 ha entre la Magdalena Atlitic y el ejido de San Mateo Tlaltenango, área que corresponde casi en su totalidad al bosque de *Pinus hartwegii* (Ávila-Akerberg, 2004). Estos conflictos han dificultado la restauración de zonas del bosque que se encuentran quemadas. Además, existe un traslape importante con el predio la Cañada, de 118 ha, presunta propiedad privada de una compañía constructora (Ramos, 2008; Ramos y Almeida-Leñero, en esta obra).

Además de los litigios entre pueblos vecinos, que pueden llegar a ser un factor importante que altera indirectamente los ecosistemas, también existen conflictos internos. La comunidad “La Magdalena Atlitic” cuenta con títulos de propiedad otorgados desde 1535; los cuales fueron reconocidos como “bienes comunales” en el siglo XX con el reparto agrario (Fig. 23). En este documento se reconocen los derechos ancestrales de la comunidad sobre su territorio y sus recursos. Sin embargo, la comunidad Magdalena Atlitic se caracteriza por la falta de organización y la poca participación en las asambleas. Del total de comuneros censados, únicamente cerca de 300 son activos. Esos mismos grupos tienen desconfianza hacia sus propias autoridades y hay grupos con conflictos de intereses. Estas características dificultan la formalización de acuerdos para el manejo del bosque (Almeida-Leñero *et al.*, 2007).



**Figura 23**

### **Agradecimientos**

La Facultad de Ciencias y los editores de esta obra expresan su agradecimiento a todas aquellas instituciones y personas que colaboraron en alguna de las diferentes etapas de la construcción de éste libro. En particular, a las autoridades locales y comuneros de la región, a la delegación La Magdalena Contreras a través del proyecto Censo de Biodiversidad de La Magdalena Contreras (2005-2006), a la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, a los programas de la Universidad Nacional Autónoma de México: Macroproyecto SDEI-PTID-02, PUEC y diversos proyectos de PAPIIT-DGAPA, PINCC 2012-2014 y PAPIME-PE208012. A Fernanda Figueroa quien participó en la revisión y



redacción de las primeras versiones y especialmente a Verónica Aguilar Zamora por el apoyo editorial de los capítulos que conforman el libro.

## Referencias

- Almeida, L., *et al.*, 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, D.F. México. *Gaceta Ecológica edición especial*, 84-85, pp. 53-64.
- Almeida-Leñero, L. y García Juárez, S., 2010. Hacia una propuesta de educación ambiental en la comunidad de la Magdalena Atlitlic, Distrito federal. En: A. Castillo, y González Gaudiano, E., eds. *Educación Ambiental y Manejo de Ecosistemas en México*. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 203-223.
- Almeida-Leñero, L., *et al.*, 2016. Introducción a los servicios ecosistémicos. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (SEDEMA). *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. III México pp.22-27. ISBN CONABIO: 978-607-8328-75-8. ISBN SEDEMA: 978-607-9206-04-8. [http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/Volumen%203-cdmx\\_web.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/Volumen%203-cdmx_web.pdf)
- Álvarez, K. E., 2000. *Geografía de la educación ambiental: algunas propuestas de trabajo en el Bosque de los Dinamos, Área de Conservación Ecológica de la Delegación Magdalena Contreras*. Tesis de Licenciatura en Geografía. México. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ávila-Akerberg, V., 2004. *Autenticidad de los bosques en la cuenca alta del río Magdalena. Diagnóstico hacia la restauración ecológica*. Tesis de Maestría. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ávila-Akerberg, V., *et al.*, 2008. Refugio de fitodiversidad en la ciudad de México, el caso de la cuenca del río Magdalena. *Journal of Botanical Resources Institute Texas*, 2, pp. 605-619.
- Ávila-Akerberg, V., 2010. Forest quality in the southwest of Mexico City. Assessment towards ecological restoration of ecosystem services. *Culterra*, Band 56, p. 200. ISBN 3-933390-39-7.

- Castillo, R. M., 2003. *Procesos exógenos en la Delegación La Magdalena Contreras, Ciudad de México*. Tesis de Licenciatura en Geografía. México. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ceballos, G. y Galindo, C., 1984. *Mamíferos Silvestres de la Cuenca de México*. México: Limusa.
- Ciudad de México., 2007. *Agenda ambiental de la ciudad de México*. Secretaría del Medio Ambiente. México.
- Cotler, H., 2004. *El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. SEMARNAT-INE.
- Cram, S., et al., 2008. Identificación de los servicios ambientales potenciales en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Boletín del Instituto de Geografía*, 5000, pp. 81-104.
- Datos climáticos diarios del CLICOM del SMN a través de su plataforma web del CICESE (<http://clicom-mex.cicese.mx>) (Consultado en 2010).
- Dobler, C., 2010. *Caracterización del clima y su relación con la distribución de la vegetación en el suroeste del D.F.* Tesis de Licenciatura. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ezcurra, E., 1990. *De las chinampas a las megalópolis. El medio ambiente en la cuenca de México*. México. Fondo de Cultura Económica.
- Ezcurra, E., 2005. Una mirada hacia atrás para ver hacia adelante. En: PAOT. *La otra cara de tu Ciudad. El suelo que nos conserva*. México. (Gobierno del Distrito Federal) PAOT, Secretaría de Cultura. D.F. pp. 13-24.
- Ezcurra, E., et al., 2006. *La cuenca de México. Aspectos ambientales críticos y sustentabilidad*. México: Fondo de Cultura Económica. Colección Ciencia y Tecnología. México.
- Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 2008. Reporte de investigación para el diagnóstico sectorial de la cuenca del río Magdalena: Componente 8. Tenencia de la tierra. En: Secretaria de Medio Ambiente-Gobierno del Distrito Federal, Universidad Nacional Autónoma de México (SMA-GDF, UNAM). *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena*.

- Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 2008. Reporte de investigación para el diagnóstico sectorial de la cuenca del río Magdalena: componente 2. Medio Biofísico. En: *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena*. Secretaria de Medio Ambiente-Gobierno del Distrito Federal, Universidad Nacional Autónoma de México (SMA-GDF, UNAM).
- Fernández-Eguiarte, A., *et al.*, 2002. Evaluación del avance de la mancha urbana sobre el área natural protegida de la Cañada de los Dinamos. INE, Semarnat México. *Gaceta Ecológica*, 62, pp. 56-67.
- Fernández-Eguiarte, A., *et al.*, 2004. Ecoturismo y desarrollo económico en la delegación la Magdalena Contreras, Distrito Federal. *Gaceta Ecológica*, 70, pp. 67-76.
- Flores Rodríguez, A., 2006. *Frecuencia de incendios forestales, su relación con la precipitación y la riqueza de especies vegetales, en la cuenca del río magdalena, D. F., México*. Tesis de Licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Galeana, J.M., 2008. *Estimación del contenido y captura potencial de carbono, su valoración económica en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México*. Tesis de Licenciatura en Geografía. México. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García E., 1965. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Publicaciones del Instituto de Geografía*, 1, pp. 171-191.
- García, E., 1997. *Carta de Isotermas Medias Anuales*. México: CONABIO.
- García, E., 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*, México. Quinta edición: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gobierno del Distrito Federal, 2007. *Programa de manejo sustentable del agua para la Ciudad de México*.
- GDF (Gobierno del Distrito Federal), 2012. *Atlas cartográfico del suelo de conservación del Distrito Federal*. México. Secretaria de Medio

- Ambiente, Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial del Distrito Federal. p. 96.
- Gómez Jiménez, Y.A., Olgún Monroy, H. y León-Paniagua, L., 2005. Mamíferos del Suelo de Conservación Contrerense, Ciudad de México. En: A. González (Responsable recopilación), 2005. *La Magdalena Atlitic. Un pueblo de fe, arte y cultura. México*. Centro de Estudios Antropológicos, Científicos, Artísticos, Tradicionales y Lingüísticos “Ce-Acatl”, A.C.
- González A., 2005. (Responsable recopilación). *La Magdalena Atlitic. Un pueblo de fe, arte y cultura. México*. Centro de Estudios Antropológicos, Científicos, Artísticos, Tradicionales y Lingüísticos “Ce-Acatl”, A.C.
- González-Reynoso, A., et al., 2010. *Rescate de ríos urbanos. Propuestas conceptuales y metodológicas para restauración y rehabilitación de ríos*. Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad- Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp. 109.
- Guerrero-Villalobos, G., Moreno-Fernández, A. y Garduño-Velasco, H., 1982. *El sistema hidráulico del Distrito Federal: un servicio público en transición*. México: Departamento del Distrito Federal.
- Hernández, M. E., Carrasco, A. G y Alfaro, S. G., 2007. *Mitos y realidades de la sequía en México*. Temas Selectos de Geografía de México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN. UNAM (Obra General): 968-36-8090-9. ISBN: UNAM 978-970-32-4692-2.
- Instituto de Geografía-UNAM, 2008. Reporte de investigación para el diagnóstico sectorial de la cuenca del río Magdalena: Componente 7. Caracterización socioeconómica. En: *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena*. Secretaria de Medio Ambiente-Gobierno del Distrito Federal, Universidad Nacional Autónoma de México (SMA-GDF, UNAM).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 2003. *Síntesis de información geográfica del Estado de México*. Aguascalientes, México: INEGI.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2006. *Cuaderno estadístico Delegacional*. Aguascalientes, México: INEGI.

- Jujnovsky, J., 2003. *Las unidades de paisaje en la cuenca alta del río Magdalena, México, D. F. Base fundamental para la planificación ambiental*. Tesis de Licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Jujnovsky, J., *et al.*, 2010. Hydrologic ecosystem services: water quality and quantity in the Magdalena River, Mexico City. *Hidrobiológica*, 20, pp. 113-126.
- Legorreta, J., 2006. *El agua y la Ciudad de México. De Tenochtitlán a la megalópolis del siglo XXI*. México. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Legorreta, J., 2009. *Ríos, lagos y manantiales del Valle de México*. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Gobierno del Distrito Federal. Artes Impresas Eón, S.A. de C.V.
- Leon, J.D., 2011. *Distribución espacial de las propiedades físico-químicas del suelo, y su relación con diferentes variables ambientales en los bosques de Pinus hartwegii y Abies religiosa, en la cuenca del río Magdalena, D.F.* Tesis de Licenciatura en Geografía. México. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Leuschner, C., 2000. Are High Elevations in Tropical Mountains Arid Environments for Plantas? *Ecology*, 81, pp. 1425-1436.
- Luis, A. M. y Llorente, J., 1990. Mariposas en el Valle de México: Introducción e historia. 1. Distribución local y estacional de los Papilionoidea de la Cañada de los Dínamos, Magdalena Contreras, D.F., México. *Folia Entomológica Mexicana*, 78, pp. 95-198.
- Mazari-Hiriart, M., *et al.*, 2000. Recarga, calidad y reúso del agua en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. 137-165. En: M. Mazari, ed. *Dualidad Población-Agua. Inicio del Tercer Milenio*. México: El Colegio Nacional.
- Mazari, H.M., *et al.*, 2001. Ciudad de México: dependiente de sus recursos hídricos. *Ciudades*, 51, pp. 42-51.
- Mazari-Hiriart M. y Mazari-Menzer, M., 2008. Efectos ambientales relacionados con la extracción de agua en la Megaciudad de México. *Agua Latinoamericana*, 8(2), pp. 24-34.
- Nava, M.Z., 2003. *Los bosques de la cuenca alta del río Magdalena, D.F.*,

- México. Un estudio de vegetación y fitodiversidad.* Tesis de Licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias, UNAM. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Nava, M.Z., 2006. *Carbono almacenado como servicio ecosistémico y criterios de restauración, en el bosque de Abies religiosa de la cuenca del río Magdalena, D.F.* Tesis de Maestría en Restauración Ecológica. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Neitzel, K.C., 2013. *Payments for environmental services-reducing emissions from deforestation and degradation (PES-REDD) in Mexico: A strategy to guaranteed the permanence of forest carbon stocks?* Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía.
- Ontiveros, A., 1980. *Análisis físico y algunos aspectos socioeconómicos de la cuenca del río Magdalena.* Tesis de Licenciatura en Geografía. México. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- PMRRE., 2008. Plan maestro de manejo integral y aprovechamiento sustentable de la cuenca del río Eslava, Distrito Federal. Gobierno del Distrito Federal. En: <http://martha.org.mx/una-politica-con-causa/wp-content/uploads/2013/09/03-Programa-Rios-Magdalena-y-Eslava.pdf>
- PUEC-UNAM (Programa Universitario de Estudios de la Ciudad-Universidad Nacional Autónoma de México), 2008. Propuesta de diagnóstico integrado de la cuenca del río Magdalena. En: SMA-GDF, UNAM. *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena.*
- Ramos, A., 2008. *Propuesta de reclasificación y zonificación participativa de la Zona Protectora Forestal Cañada de Contreras, Distrito Federal, México.* Tesis de maestría. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. p 99.
- Rubio, M., 2010. *Los pastizales del suelo de conservación de la Delegación Magdalena Contreras, D.F.* Tesis de Licenciatura. México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala.
- Rzedowski, J., 1978. *Vegetación de México.* México. Limusa.
- Rzedowski, J. y Rzedowski, G.C., 1989. Sinopsis numérica de la

- fanerogamia del Valle de México. *Acta Botánica Mexicana*, pp. 15-30.
- Sanders, W.T., Parsons, J.R. y Santley, R.S., 1979. *The Basin of Mexico: Ecological Processes in the evolution of a civilization*. Nueva York. Academic Press. p. 561.
- Sheinbaum, C., 2008. *Problemática ambiental de la Ciudad de México: diagnóstico y experiencias de gestión. 2001-2006*. México: Limusa.
- Sevruk, B., 1997. Regional dependency of precipitation-altitude relationship in the Swiss Alps. *Climatic Change*, pp. 36, 355-369.
- Secretaría del Medio Ambiente (SMA)-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), 2006. *Atlas de vegetación y uso del suelo. Suelo de conservación del Distrito Federal*.
- Universidad Autónoma del Estado de Morelos y Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2010. *Actualización del Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal*. México. UAEM-SMA-GDF.
- Uitto, J. I. y Biswa, A.K., 2000. *Water for Urban Areas: Challenges and Perspectives*. Tokyo. United Nations University Press.
- 

<sup>1</sup> Laboratorio de Ecosistemas de Montaña, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Correo electrónico autor responsable: \*[lucia0950@ciencias.unam.mx](mailto:lucia0950@ciencias.unam.mx)

<sup>2</sup> En este libro, se incluyeron en algunos casos o todo el Suelo de Conservación Contrerense o la CRE, pero las investigaciones principales son sobre la CRM, ya que es la zona mejor conservada por lo que la descripción resumida de estas dos cuencas, se hace por separado.

<sup>3</sup> Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. Correo electrónico autor responsable: \*[mehc@unam.mx](mailto:mehc@unam.mx)

<sup>4</sup> Laboratorio de Ecosistemas de Montaña, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. Correo electrónico autor responsable: \*[julieta.jujnovsky@gmail.com](mailto:julieta.jujnovsky@gmail.com)

## **II. BIODIVERSIDAD**



## FITODIVERSIDAD EN EL SUELO DE CONSERVACIÓN Y LA ZONA RIBEREÑA URBANA DEL SUELO DE CONSERVACIÓN CONTRERENSE

*Víctor Ávila-Akerberg\**, *Beatriz González-Hidalgo*, *Rubén Salinas Galicia*, *Mariana Nava-López*, *Nihaib Flores Galicia*, *Mónica Vázquez Medrano* y *Lucía Almeida-Leñero*<sup>1</sup>

### Introducción

México es uno de los países con mayor diversidad biológica en la Tierra (Sarukhán y Dirzo, 2001). Un componente fundamental de esta biodiversidad es la variedad de plantas y de grandes tipos de vegetación, ya que el territorio mexicano se ubica entre las zonas florísticas más ricas del mundo (Rzedowski, 1978; 1991). Se estima que su flora se compone de 22,351 especies de plantas e, incluso, se cree que puede llegar a ser de ca. 30,000 (Villaseñor, 2003; 2004).

La zona templada subhúmeda cubre la mayor parte de las áreas montañosas del país (Toledo y Ordoñez, 1998). A esta región pertenece la cuenca de México (CM), que contiene bosques templados en los que se distribuye cerca de 2% de las plantas del planeta (Rzedowski y Rzedowski, 2001). En esta cuenca endorreica de origen volcánico, con una extensión aproximada de 7,500 km<sup>2</sup>, se ubica en la CDMX que, a pesar de contener una de las ciudades más grandes del mundo, también presenta en 58% de su territorio importantes áreas con vegetación natural (CORENADER, 2006). En esta zona se han realizado diferentes estudios florísticos, en virtud de contener algunos de los centros de investigación más importantes del país (Rzedowski y Rzedowski, 2001); aun así, el conocimiento sobre su fitodiversidad es incompleto. La Ciudad de México es el mayor centro de población en el país y enfrenta una presión antrópica fuerte, por lo que es indispensable un monitoreo de la diversidad florística para su conservación y buen uso.

Diversos autores han realizado estudios previos de florística y vegetación en la CM y zonas adyacentes. Rzedowski (1954) realizó un análisis de la fitodiversidad en el matorral xerófilo del pedregal de San Ángel; Madrigal (1967) estudió el bosque de *Abies religiosa*; Rzedowski (1970) describió el bosque mesófilo de montaña, y Velázquez y Cleef (1993) definieron las asociaciones vegetales en los volcanes Tláloc y

Pelado. En 2001, G. C. de Rzedowski y Rzedowski, junto con diversos colaboradores, actualizaron la información sobre la flora del Valle de México, estimada en alrededor de 2,500 especies. Esta información ha sido la base para estudios recientes en la cuenca del río Magdalena (CRM), como los de Nieto de Pascual (1995), quien describió la estructura y composición de los bosques de *Abies religiosa*, y Ávila-Akerberg (2002; 2010) y Ávila-Akerberg *et al.* (2008) que integraron la primera lista florística de la CRM. Recientemente, Rivera-Hernández y Espinosa (2007) describieron la flora y vegetación en el Distrito Federal. El presente capítulo representa una actualización del inventario de la fitodiversidad de plantas en el SCC y de la zona urbana del río Magdalena.

### **Método**

Se realizó la recolecta de ejemplares durante diversos recorridos entre 2004 y 2009, en alrededor de 250 sitios, bajo un muestreo estratificado aleatorio, distribuidos en los diferentes tipos de bosques del SCC y la zona urbana del río Magdalena.

Los ejemplares fueron herborizados<sup>2</sup>, etiquetados y determinados a nivel de especie, con ayuda de claves taxonómicas especializadas para la zona (Beetle, 1983; 1987; Espinosa y Sarukhán, 1997; Rzedowski y Rzedowski, 2001). Para todas las especies (nativas, exóticas, arvenses y ruderales), se siguió la clasificación propuesta por Cronquist (1988) para dicotiledóneas, mientras que para las monocotiledóneas se utilizó la de Dahlgren *et al.* (1985); para las plantas no vasculares, se consultó la clasificación de Bold *et al.* (1989) y para pteridophytas, la de Smith *et al.* (2006). Los ejemplares están siendo depositados tanto en el herbario de la Facultad de Ciencias como del INECOL-Bajío. Las sinonimias y nomenclatura de los nombres científicos se corroboraron en la base de datos del Missouri Botanical Garden ([www.tropicos.org](http://www.tropicos.org)). Se reconocieron las siguientes formas de vida: árboles, arbustos, hierbas, rasantes (entre 0-5 cm), epífitas y trepadoras, según la clave de Rzedowski y Rzedowski (2001).

Para recabar la información de colectas de otros autores, se tomaron en cuenta las menciones de presencia de las especies para el área de estudio. Se consultaron los trabajos de Madrigal (1967), Sánchez (1969), Luis-Martínez (1985), Nieto de Pascual (1995), Silva *et al.* (1999) y de

Rzedowski y Rzedowski (2001). Finalmente, se definió la afinidad geográfica a nivel de género con base en los trabajos de Mabberley (1987), Williams (1951), Willis (1973) y Almeida-Leñero (1997); aunado a lo anterior, se siguieron los criterios de la tabla 1.

**Tabla 1**

Tabla 1. Áreas de distribución utilizadas para definir la afinidad fitogeográfica a nivel de género (modificado de Almeida-Leñero, 1997).

COMPONENTES	ELEMENTOS	ÁREAS DE DISTRIBUCIÓN
Templado	Ampliamente templado (ATe) Holártico (HA) Neártico (NA) Austral antártico (AA)	Templadas y frías de ambos hemisferios Templadas y frías del hemisferio norte Templadas y frías de Norteamérica Templadas y frías del hemisferio sur
Cosmopolita	Cosmopolita (CO)	Templadas y tropicales de ambos hemisferios
Tropical	Ampliamente tropical (ATr) Neotropical (NT)	Tropicales de América, Asia y África Tropicales de América
México	Endémico (MX)	México

## Resultados

En la lista florística de lo identificado en el área se registró un total de 121 familias, con 335 géneros y 610 especies (**Anexo 1**). Se encontraron siete familias de flora no vascular, cada una con un género representado por una sola especie. La flora vascular incluye las 114 familias restantes, con 328 géneros y 606 especies (Tabla 2). Las familias más importantes en cuanto al número de especies fueron: Asteraceae (19.4% del total de especies), Poaceae (4.6%), Brassicaceae (4.1%), Lamiaceae (4.3%), Caryophyllaceae (3.8) y Rosaceae (3.6%) (Tabla 3), mientras que las familias con mayor número de géneros fueron: Asteraceae (16.3% del total), Poaceae (5.1%), Brassicaceae (5.1%), Fabaceae (4.5%), Rosaceae (3.5%) y Lamiaceae (2.9%). Los géneros con más especies fueron *Salvia* (14), *Pinus* (12), *Ageratina* (10), *Stevia* (9), *Quercus* y *Senecio* (con 7 cada uno). Las formas de crecimiento más abundantes fueron las herbáceas (424 especies), seguido de las arbóreas (87), las arbustivas (57), las rasantes (26), las trepadoras (8) y, finalmente, las epífitas (8).

**Tabla 2**

Tabla 2. Distribución de familias, géneros y especies por división en el Suelo de Conservación y la zona ribereña urbana de la Magdalena Contreras, CDMX (elaboración propia).

	DIVISIÓN	FAMILIAS	GÉNEROS	ESPECIES
No vascular	Bryophyta	7	7	7
Vascular	Equisetophyta	1	1	1
	Lycopodiophyta	1	1	1
	Pteridophyta	5	10	14
	Coniferophyta	4	7	21
	Magnoliophyta	89	262	494
	Liliophyta	14	47	81

Tabla 3

Tabla 3. Familias de plantas vasculares mejor representadas en el Suelo de Conservación y la zona ribereña urbana de la cuenca del río Magdalena, CDMX (elaboración propia).

Familia	Géneros (No.)	Géneros (%)	Especies (No.)	Especies (%)
Asteraceae	51	16.3	118	19.4
Poaceae	16	5.1	28	4.6
Brassicaceae	16	5.1	25	4.1
Fabaceae	14	4.5	22	3.6
Rosaceae	11	3.5	22	3.6
Lamiaceae	9	2.9	26	4.3
Scrophulariaceae	8	2.6	12	2.0
Solanaceae	7	2.2	22	3.6
Apiaceae	6	1.9	9	1.5
Caryophyllaceae	5	1.6	23	3.8
Crassulaceae	5	1.6	11	1.8
Rubiaceae	5	1.6	9	1.5
Cyperaceae	4	1.3	11	1.8
Onagraceae	4	1.3	9	1.5

A nivel de familias, según la forma de crecimiento, las más numerosas fueron: a) en herbáceas, Asteraceae (91 especies), Lamiaceae (26), Poaceae (25), Brassicaceae (23), Caryophyllaceae (20), Fabaceae (15) y Cyperaceae (11); b) para las arbustivas, Asteraceae (23 especies), Ericaceae (4) y Rosaceae (3); entre las arbóreas, Pinaceae (14 especies), Fagaceae (7), Rosaceae y Fabaceae (5 especies cada una) y Betulaceae (4) (Fig. 1). Once de las especies registradas se encuentran dentro de alguna

categoría de riesgo de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010). De éstas, dos son endémicas de México: *Dahlia scapigera* y *Furcraea bedinghausii* (sinónima de *F. parmentieri*; Tabla 4). Algunos ejemplos de estas especies pueden observarse en las figuras 2, 3 y 4. Además, veinte especies se encuentran en alguna categoría de riesgo de acuerdo a la Lista Roja de la UICN (IUCN, 2015; ver [Anexo 1](#)).

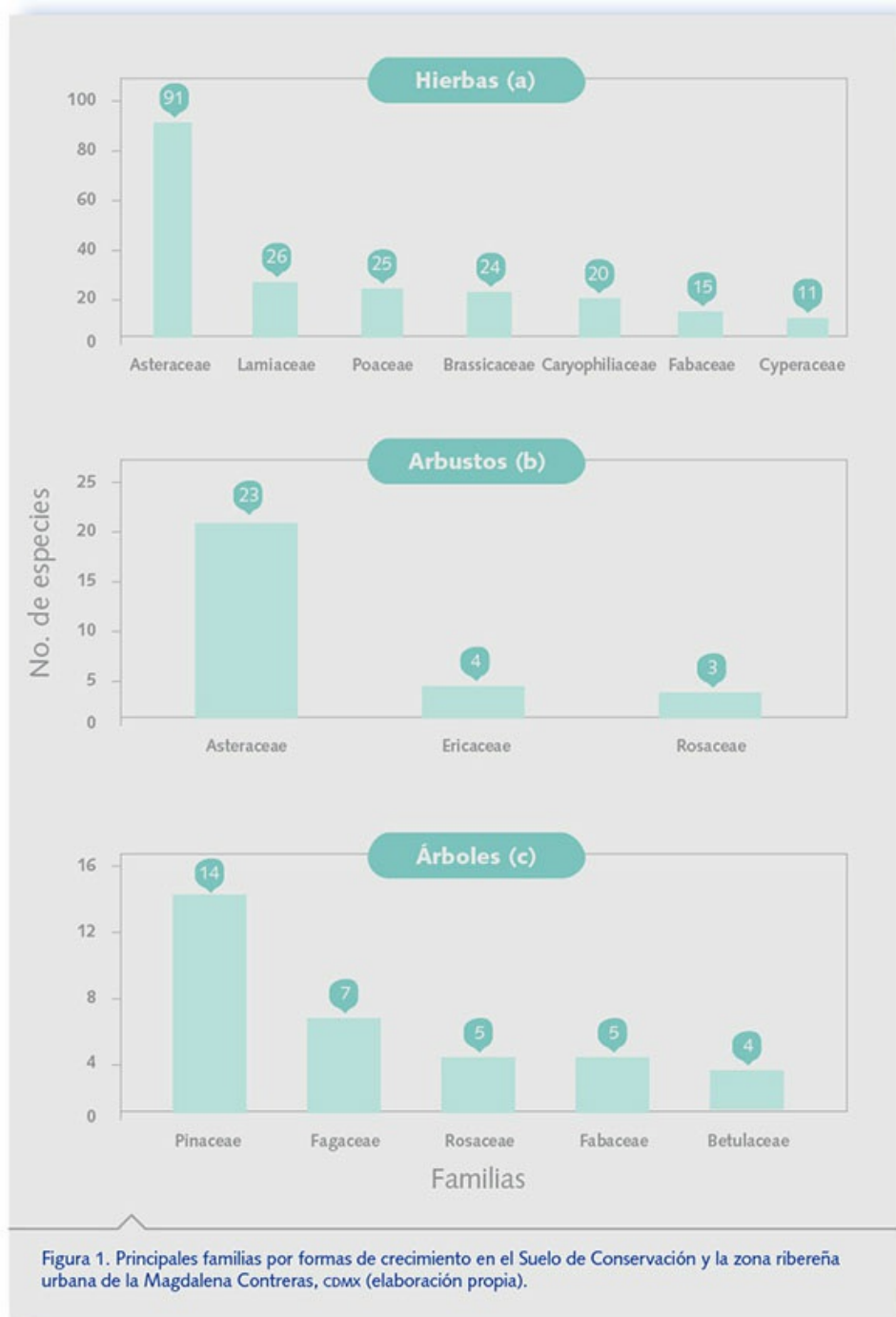


Figura 1

**Tabla 4**

Tabla 4. Especies en el Suelo de Conservación y la zona ribereña urbana de la Magdalena Contreras, CDMX, incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (elaboración propia).

Familia	Especie (nombre común)
Aceraceae	<i>Acer negundo</i> L. var. <i>mexicanum</i> (DC.) Kuntze (Azecintle)
Agavaceae	<i>Furcraea bedinghausii</i> K. Koch (Shishé, palmita)
Asteraceae	<i>Dahlia scapigera</i> (A. Dietr.) Knowles & Westc. (Dálea)
Cupressaceae	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill. (Cedro blanco)
Cupressaceae	<i>Juniperus monticola</i> Martínez (Junípero, sabino)
Ericaceae	<i>Comarostaphylis discolor</i> (Hook) Diggs var. <i>discolor</i> (Hook) Diggs (Madrño borracho)
Fabaceae	<i>Trifolium wormskioldii</i> Lehm var. <i>ortegae</i> (Greene) Barneby (Trébol)
Fabaceae	<i>Erythrina americana</i> DC. (Colorín)
Lauraceae	<i>Litsea glaucescens</i> Kunth (Laurel)
Orchidaceae	<i>Corallorhiza macrantha</i> Schltr. (Orquídea)



Figura 2. Madroño borracho *Comarostaphylis discolor* (Foto: Victor Ávila).

**Figura 2**



Figura 3. Palmita, shishé *Furcraea bedinghausii* (Foto: Víctor Ávila).

**Figura 3**



Figura 4. Dálea *Dahlia scapigera* (Foto: Víctor Ávila).

**Figura 4**

El total de las especies relacionadas con los sistemas de cultivo

(arvenses) o con caminos (ruderales) fue de 82 (algunas son exóticas). Estas especies se ven favorecidas por condiciones de perturbación, por lo que es común encontrarlas, y su importancia radica en que pueden convertirse en invasoras y desplazar a las especies nativas. Entre estas especies se encuentran: *Acaena elongata*, *Achillea millefolium*, *Ageratina petiolaris*, *Baccharis conferta*, *Buddleia cordata*, *Cerastium nutans*, *C. vulcanicum*, *Drymaria laxiflora*, *Erigeron galeottii*, *Geranium seemannii*, *Senecio cinerarioides* y *Sigesbeckia jorullensis*.

Con respecto a la afinidad fitogeográfica<sup>3</sup> a nivel de género, se encontró que la mayoría de las especies son Cosmopolitas (154), seguidas de las Holárticas (139), las Neotropicales (124), las Ampliamente templadas (100), las Ampliamente tropicales (65), las Neárticas (15), las Endémicas (11) y, finalmente, las Austral antárticas (13).

## Discusión

Los resultados confirman que esta zona representa una de las localidades más importantes como refugio de fitodiversidad del suelo de conservación de la Ciudad de México y que la riqueza florística es mayor o similar a la encontrada en zonas cercanas (e.g. Álvarez del Castillo, 1987; Cornejo-Tenorio *et al.*, 2003; Sánchez-González y López-Mata, 2003; Castillo-Argüero *et al.*, 2004; Sánchez-González *et al.*, 2005). Además, en esta zona se presentan los principales tipos de vegetación templada del país. En cuanto al número de especies, dominan las del estrato herbáceo, lo que corresponde con lo observado por Rzedowski (1978) y Cornejo-Tenorio *et al.* (2003) para la mayor parte de los bosques templados de México. Sin embargo, al considerar los datos de cobertura de este estudio, el estrato arbustivo es el dominante. Esto puede ser un indicador del deterioro de la zona, ya que, con la pérdida de la cubierta vegetal, se generan claros en el dosel del estrato arbóreo permitiendo o estimulando el crecimiento de los arbustos.

La familia mejor representada es la Asteraceae, con 118 especies, seguida en menor proporción por las familias Poaceae (28), Lamiaceae (26), Brassicaceae (24), Rosaceae (22) y Fabaceae (22). Este patrón de predominio florístico se ha encontrado también en otros trabajos realizados en tipos de vegetación similares a los de La Magdalena Contreras, como en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala (Bonilla-Barbosa y Viana-



Lases, 1997), el volcán Popocatepetl (Almeida-Leñero, 1997), el de San Juan Nuevo Paranguricutiro (Medina-García *et al.*, 2000) y en la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, entre otros (Cornejo-Tenorio *et al.*, 2003).

La revisión de los trabajos de Reiche (1914), Madrigal (1967), Sánchez-Sánchez (1969), Rzedowski (1970), Nieto de Pascual (1995) y Rzedowski y Rzedowski (2001), nos indica que en ellos se han encontrado un mayor número de especies en la zona, que las registradas en este estudio (751). Esto podría deberse a las causas siguientes: a) que algunas especies han desaparecido de la zona; b) que hay sinonimias o inconsistencias en los listados o c) que el esfuerzo de colecta de este estudio aún es insuficiente. Por lo tanto, es necesario corroborar las colectas realizadas previamente por otros autores y continuar con el monitoreo de la flora en la zona. El uso de nuevas herramientas taxonómicas, como el código de barras, serán de gran ayuda para determinar con mayor certidumbre la riqueza y diversidad florística.

Los resultados confirman la importancia del área como refugio de conservación para la flora templada del país, no sólo por su elevada diversidad de especies, sino también por el alto número de especies endémicas (116) y en alguna categoría de riesgo (10). El nivel de endemismo encontrado en el área es similar al encontrado en estudios de flora en otras zonas de las montañas del centro de México (Rzedowski, 1991; Cornejo-Tenorio *et al.*, 2003). Este patrón de alto endemismo ha sido explicado considerando que las montañas de esta región funcionan como “islas ecológicas<sup>4</sup>” y también por la gran diversidad ambiental y geológica del país.

Más de 78% del territorio de la delegación La Magdalena Contreras es parte del suelo de conservación de la Ciudad de México. Este hecho es relevante si se considera que la riqueza de especies vegetales, representa poco más de 25% de la diversidad florística de la CM y 2.2% de la riqueza total del país. La importancia de esta zona es aún mayor, ya que en ella se encuentra uno de los últimos escurrimientos superficiales permanentes del Ciudad de México, así como la presencia de elementos de bosque mesófilo de montaña, casi desaparecidos en la CM (Rzedowski, 1978; Ávila-Akerberg, 2010). En este sentido, resulta fundamental priorizar el cuidado

y recuperación de esta cuenca y de las zonas adyacentes.

La información florística que se presenta aquí, recalca la importancia de la conservación de la vegetación natural y de los numerosos servicios ecosistémicos que la fitodiversidad mantiene y brinda a la ciudad, como la captura de carbono, la provisión de plantas medicinales, entre otros. También puede ser de utilidad para enriquecer las acciones que se realicen de acuerdo al Plan Maestro del área (SMA-GDF, 2008), como la priorización de las especies a conservar y las más apropiadas a utilizar en la restauración ecológica. Además de realizar colectas florísticas, aún es necesario llevar a cabo investigación sobre los niveles de abundancia (número de individuos) en los distintos grupos taxonómicos y estudios demográficos en especies clave como las endémicas, o bien las que se incluyen dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) y en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN (IUCN, 2015). Esto permitirá distinguir a las especies raras de las comunes y priorizar acciones de manejo hacia la conservación de las especies nativas y menos abundantes. También resulta fundamental establecer un monitoreo de la flora, en el que los dueños del bosque participen, con el fin de fomentar el cuidado y la protección de las especies nativas, así como el manejo adecuado de las especies ruderales y arvenses, que son plantas asociadas a la actividad humana.

### **Agradecimientos**

A los especialistas Dra. Susana Valencia Ávalos (Fagaceae), Biol. Ramiro Cruz Durán (Fabaceae), Dra. Martha Martínez (Euphorbiaceae) y M. en C. Rosa Ma. Fonseca (Pinaceae y Rosaceae). Los autores agradecen a Lilia Alvarado García, Myriam Rubio y Madai Velasco Vázquez por apoyar en la colecta, procesado y montaje del material botánico, así como en el manejo de la base de datos. A Verónica Aguilar Zamora, por el apoyo en la corrección del documento.

### **Referencias**

- Almeida-Leñero, L., 1997. *Vegetación, fitogeografía y paleoecología del zacatonal alpino y bosques montanos de la región central de México*. Tesis doctoral. Universidad de Amsterdam. p 255.
- Álvarez del Castillo, C., 1987. *La vegetación de la Sierra del Ajusco*.

- Cuaderno de Trabajo 33. México: Departamento de Prehistoria. Instituto Nacional de Antropología e Historia. p 74.
- Ávila-Akerberg, V., 2002. *La vegetación en la cuenca alta del río Magdalena: un enfoque florístico, fitosociológico y estructural*. Tesis de licenciatura. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ávila-Akerberg, V., 2010. *Forest quality in the southwest of Mexico City. Assessment towards ecological restoration of ecosystem services*. Alemania: Culterra 56, Institut für Landespflge. Freiburg. p 140.
- Ávila-Akerberg, V., *et al.*, 2008. Refugio de fitodiversidad en la Ciudad de México, el caso de la cuenca del río Magdalena. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 2, pp. 605-619.
- Beetle, A.A., 1983. *Las Gramíneas de México. Tomo I*. México: Comisión Técnico consultiva para la determinación de los coeficientes de agostadero (COTECOCA) y Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).
- Beetle, A.A., 1987. *Las Gramíneas de México. Tomo II*. México: Comisión Técnico consultiva para la determinación de los coeficientes de agostadero (COTECOCA) y Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).
- Bold H.C., Alexopoulos, C.J., y Delevoryas, Th., 1989. *Morfología de las Plantas y los Hongos*. Barcelona: Omega.
- Bonilla-Barbosa, J.R. y Viana-Lases, J.A., 1997. *Listados Florísticos de México XIV. Parque Nacional Lagunas de Zempoala*. México: Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Castillo-Argüero, S., *et al.*, 2004. Dinámica y conservación de la flora del matorral xerófilo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (D.F., México). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 74, pp. 51-75.
- CORENADER (Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural), 2006. *El suelo de conservación del Distrito Federal*. Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. Disponible en: (<http://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/suelo-de-conservacion>).
- Cornejo-Tenorio, G., *et al.*, 2003. Flora y vegetación de las zonas núcleo

- de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 73, pp. 43-62
- Cronquist, A., 1988. *The evolution and classification of Flowering Plants*. Nueva York: (Segunda edición: 2a. ed.) Columbia University Press.
- Dahlgren, R. M.T., Clifford, H.T. y Yeo, P.F., 1985. *The Families of the monocotyledons. Structure, evolution and taxonomy*. Nueva York: Springer-Verlag.
- Espinosa, G.F.J. y Sarukhán, J., 1997. *Manual de malezas del Valle de México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica.
- IUCN, 2015. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.2. Disponible en: (<http://www.iucnredlist.org>), [consultado el 2 de febrero de 2014].
- Luis-Martínez, M.A., 1985. *Distribución altitudinal y estacional de los papilionoidea (insecta: Lepidoptera), en la cañada de los Dinamos; Magdalena Contreras, D.F.* Tesis de licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mabberley, D.J., 1987. *The Plant Book. A portable dictionary of the higher plants*. Reino Unido: Cambridge University Press.
- Madrigal, S., 1967. *Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (Abies religiosa H.B.K. Schl. Et Cham.) en el Valle de México*. México. Boletín Técnico 18. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales.
- Medina-García, C., et al., 2000. Estudio florístico en el área de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. *Acta Botánica Mexicana*, 52, pp. 5-41.
- Missouri Botanical Garden. Plant species database. Disponible en: ([www.tropicos.org](http://www.tropicos.org)). Base de datos en: [https://www.bgci.org/resources/database\\_links/](https://www.bgci.org/resources/database_links/). [consultado el 12 de marzo de 2006].
- Nieto de Pascual, P.C., 1995. Estudio sinecológico del bosque de oyamel de la Cañada de Contreras, D.F. *Ciencias Forestales México*, 77(20), pp. 3-34.
- Reiche, C., 1914. *La vegetación alrededor de la Cuenca de México*. México: Tipografía moderna. p 116.

- Rivera-Hernández, J.E. y Espinosa, A.H., 2007. Flora y Vegetación del Distrito Federal. En: I. Luna, Morrone, J.J. y Espinosa O., eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 231-253.
- Rzedowski, J., 1954. Vegetación del Pedregal de San Ángel (Distrito Federal, México). *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 8(1-2), pp. 59-129.
- Rzedowski, J., 1970. Nota sobre el bosque mesófilo de montaña en el Valle de México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 18, pp. 91-106.
- Rzedowski, J., 1978. *Vegetación de México*. México: Ed. Limusa.
- Rzedowski, J., 1991. Diversidad y orígenes de la Flora Fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* 14, pp. 3-21.
- Rzedowski, G. C. de, y Rzedowski, J., 2001. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. México: CONABIO-Instituto de Ecología, A. C.
- Sánchez-González, A. y López-Mata, L., 2003. Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica*, 74, pp. 47-71.
- Sánchez-González, A., López-Mata, L. y Granados-Sánchez, D., 2005. Semejanza florística entre los bosques de *Abies religiosa* (H.B.K.) Cham. & Schltdl. de la Faja Volcánica Transmexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. *Investigaciones Geográficas*, 56, pp. 62-76.
- Sánchez-Sánchez, O., 1969. La flora del Valle de México. México: Editorial Herrero.
- Sarukhán, J. y Dirzo, R., 2001. Biodiversity-rich countries. En: S.A. Levia, ed. *Encyclopedia of Biodiversity*. San Diego, California: Academic Press. pp. 30-45.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación,

segunda sección, jueves 30 de diciembre de 2010.

- Silva, L., *et al.*, 1999. La vegetación de la región de montaña del sur de la Cuenca de México. En: A. Velázquez y F.J. Romero, ed. *Biodiversidad de la región de montaña del sur de la Cuenca de México: bases para el ordenamiento ecológico*. México. Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco – Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. p. 351.
- SMA-GDF (Secretaria del Medio Ambiente-Gobierno del Distrito Federal), 2008. *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena*. México. Secretaria de Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Smith, A.R., *et al.*, 2006. A classification for extant ferns. *Taxon*, 55 (3), pp. 705-731.
- Toledo, M. y Ordoñez, M.J., 1998. El panorama de la biodiversidad de México: una revisión de los hábitats terrestres. En: T. O. Ramamoorthy, *et al.*, eds. *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. México: Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 739-755.
- Velázquez, A. y Cleef, A.M., 1993. The plant communities of the volcanoes Tláloc and Pelado, México. *Phytocoenologia*, 22, pp. 145-192.
- Villaseñor, J.L., 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia*, 28, pp. 160-167.
- Villaseñor, J.L., 2004. Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 75, pp. 105–135.
- Williams, L.O., 1951. The Orchidaceae of Mexico. *Ceiba*, 2, pp. 1-321.
- Willis, J.C., 1973. *A dictionary of the flowering plants and ferns*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- 

<sup>1</sup> Laboratorio de Ecosistemas de Montaña, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.

Correo electrónico autor responsable: \* [vicaviak@gmail.com](mailto:vicaviak@gmail.com)

<sup>2</sup> La herborización de los ejemplares botánicos se hace prensando la planta entre papel periódico y cartón bajo presión mecánica y secando en horno. Los

ejemplares deben ser disecados de manera que sus órganos conserven las características de manera similar a las observadas en vivo.

<sup>3</sup> Se refiere a la distribución espacial original de las plantas, los sitios donde de manera natural se han encontrado históricamente. Por ejemplo, las especies Cosmopolitas se encuentran en ambos hemisferios y, tanto en el continente americano, como en Europa, África, Asia u Oceanía. El Neotrópico y Neártico representan las zonas tropicales y templadas y frías, respectivamente, del continente americano. La afinidad Holártica representa las especies cuyos géneros tienen un origen de distribución en zonas templadas y frías del hemisferio norte.

<sup>4</sup> Es una zona geográficamente aislada, inadecuada para algunas especies, como lo pueden ser las partes altas de las montañas.

## LAS ALGAS DEL RÍO MAGDALENA

Enrique A. Cantoral Uriza<sup>1\*</sup>, Javier Carmona Jiménez<sup>2</sup>, Rocío Ramírez Rodríguez<sup>2</sup>, Yenny Beltrán Magos<sup>2</sup> y Miriam G. Bojorge García<sup>1</sup>

### Introducción

Este trabajo presenta la relación de especies de algas, producto del análisis de los crecimientos visibles a lo largo del suelo de conservación del río Magdalena y recolectados antes y después de la época de lluvias entre 1998 y 2006. Este grupo de organismos es muy importante para el sistema acuático, ya que desempeñan un papel central como productores primarios, incorporan oxígeno al sistema y son alimento y refugio para otros organismos que ahí habitan; tales como ciliados, macroinvertebrados e insectos y peces presentes en diferentes estadios de desarrollo.

Sobre las algas que habitan el río, se han desarrollado distintos tópicos de investigación a partir de 1999 al 2007, sobre diferentes aspectos: florístico (Ramírez *et al.*, 2001; Ramírez y Cantoral, 2003), taxonómico (León-Tejera *et al.*, 2003; Ramírez y Carmona, 2005); estudios ecológicos de poblaciones (Ramírez y Carmona, 2005; Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2007) y comunidades (Bojorge y Cantoral-Uriza, 2007). También, se ha reconocido su valor como organismos indicadores de la calidad ambiental (Cantoral-Uriza *et al.*, 1999; Montejano-Zurita *et al.*, 2000).

El río Magdalena se encuentra en un área caracterizada por un clima templado frío (García, 1988), el cual tiene un efecto de enfriamiento sobre el agua, especialmente durante el invierno (Ramírez *et al.*, 2001; Ramírez y Cantoral, 2003). Entre las especies reportadas en este trabajo, *Prasiola mexicana* (Chlorophyta) es una de las especies de algas macroscópicas más importantes, que se mantiene de forma visible la mayor parte del año en el río y que tiene una amplia distribución en la Faja Volcánica Transmexicana (Ramírez *et al.*, 2001; Ramírez y Cantoral, 2003; Ramírez y Carmona, 2005). Además, cabe destacar que dos registros de diatomeas para la región (*Pinnularia divergentissima* y *Frustulia romboides*) se consideran especies afines a ambientes nórdico alpinos (Bojorge y Cantoral-Uriza, 2007).

Los análisis taxonómicos de las algas, como el que aquí se presenta, son una base fundamental para realizar estudios posteriores sobre la

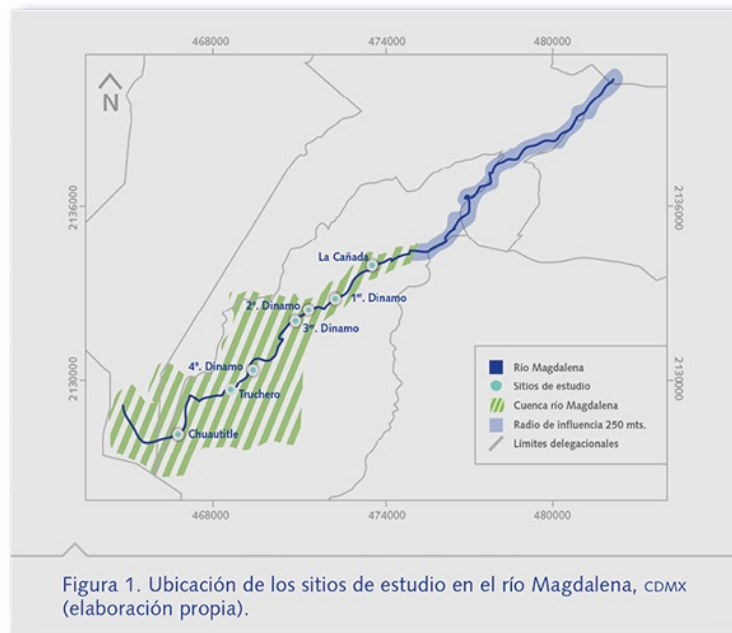


biología de las especies, estudios ecológicos o sobre la distribución de las mismas. Los listados de especies y sus descripciones son, además, una herramienta básica para los estudios de intervención ambiental. Las algas son excelentes indicadores de las condiciones ambientales, pues son sensibles a los cambios físicos y químicos en el sistema acuático, tanto los que se dan de forma natural -como son los relacionados con los periodos de lluvias y estiaje-, como aquéllos generados por el hombre, por ejemplo, los derivados de la agricultura, la industria y la actividad urbana. Así pues, esta relación de especies con el ambiente acuático se convierte en un referente fundamental para que las instituciones gubernamentales y el sector académico, de forma organizada, puedan dar pasos encaminados a la conservación y aprovechamiento adecuado del agua del río. El fin de este escrito, es mostrar la relación de las especies algales observadas y su distribución a lo largo del río Magdalena, así como señalar a aquellas que, a través de sus afinidades ambientales, describen a este río templado.

## **Método**

La selección de sitios de estudio (Figura 1) se basó en las siguientes características: i) tener el registro de cuatro recolectas o más durante el período 1998-2006 y ii) que en cada uno de los sitios se hubiera recolectado en las épocas de lluvias y secas. Los crecimientos visibles de algas se tomaron directamente con las manos y para la recolecta de algas microscópicas, como fue el caso de las diatomeas, se realizaron raspados de 100 cm<sup>2</sup> en la superficie de la roca. Las muestras de algas con crecimiento visible y las microscópicas se almacenaron en frascos y se trasladaron al laboratorio para su posterior estudio. En el laboratorio se realizaron preparaciones para observar los diferentes aspectos morfológicos de importancia taxonómica y que permitieran comparar con las claves de identificación. Para las diatomeas, se eliminó la materia orgánica con peróxido de hidrógeno y calentando hasta la evaporación, después se lavó varias veces con agua destilada hasta la neutralización. En los casos en que la materia orgánica permaneció adherida a los frústulos (pared celular de diatomeas), se añadieron 20 mg de permanganato de potasio, y las muestras se lavaron posteriormente con agua destilada hasta la neutralización (Iserentant *et al.*, 1999); posteriormente fueron montadas con resina Naphrax® (índice de refracción = 1.74). Cada preparación se

observó en microscopia fotónica con microscopios Olympus BX 51 y se tomaron microfotografías digitales con una cámara Olympus DP12. Las muestras biológicas se depositaron en el Herbario de la Facultad de Ciencias, UNAM (FCME), con la clave CM de Cuenca de México.



**Figura 1**

La temperatura, pH y conductividad específica fueron medidas en cada sitio y en el centro del río, con un medidor de conductividad marca Conductronic PC-18 (Puebla, México). En la tabla 1 se muestra la ubicación y las características fisicoquímicas de los sitios estudiados a lo largo del río. La determinación de las especies de algas se realizó con base en la consulta de las obras que se muestran en la tabla 2.

**Tabla 1**

Tabla 1. Ubicación y características fisicoquímicas de los sitios de estudio en el río Magdalena, CDMX (elaboración propia).

Localidad	Altitud (msnm)	Latitud Norte	Longitud Oeste	Temperatura (°C)	Conductividad específica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	pH
Chuautille	3,300	19°15'21.9"	99°18'89.7"	6.6-8.8	54.0-76.3	7.2-7.3
Truchero	3,255	19°15'50.3"	99°18'25.6"	7.0-9.8	62.0-73.3	6.9-7.6
4° Dinamo	3,200	19°16'00"	99°18'00"	3.0-10.3	83.0-132.0	6.0-8.3
3° Dinamo	2,881	19°16'88.1"	99°16'73.7"	7.0-11.2	51.0-86.7	7.0-7.5
2° Dinamo	2,760	19°17'13.0"	99°16'33.0"	7.5-11.6	58.0-91.7	7.0-7.5
La Cañada	2,530	19°17'00"	99°15'00"	10.2-15.0	98.4-156.0	6.5-7.6
1° Dinamo	2,490	19°17'50"	99°16'00"	10.8-14.0	67-160	7.0-7.5

Tabla 2

Tabla 2. Literatura empleada para la determinación de las especies de algas en el río Magdalena, CDMX (elaboración propia).

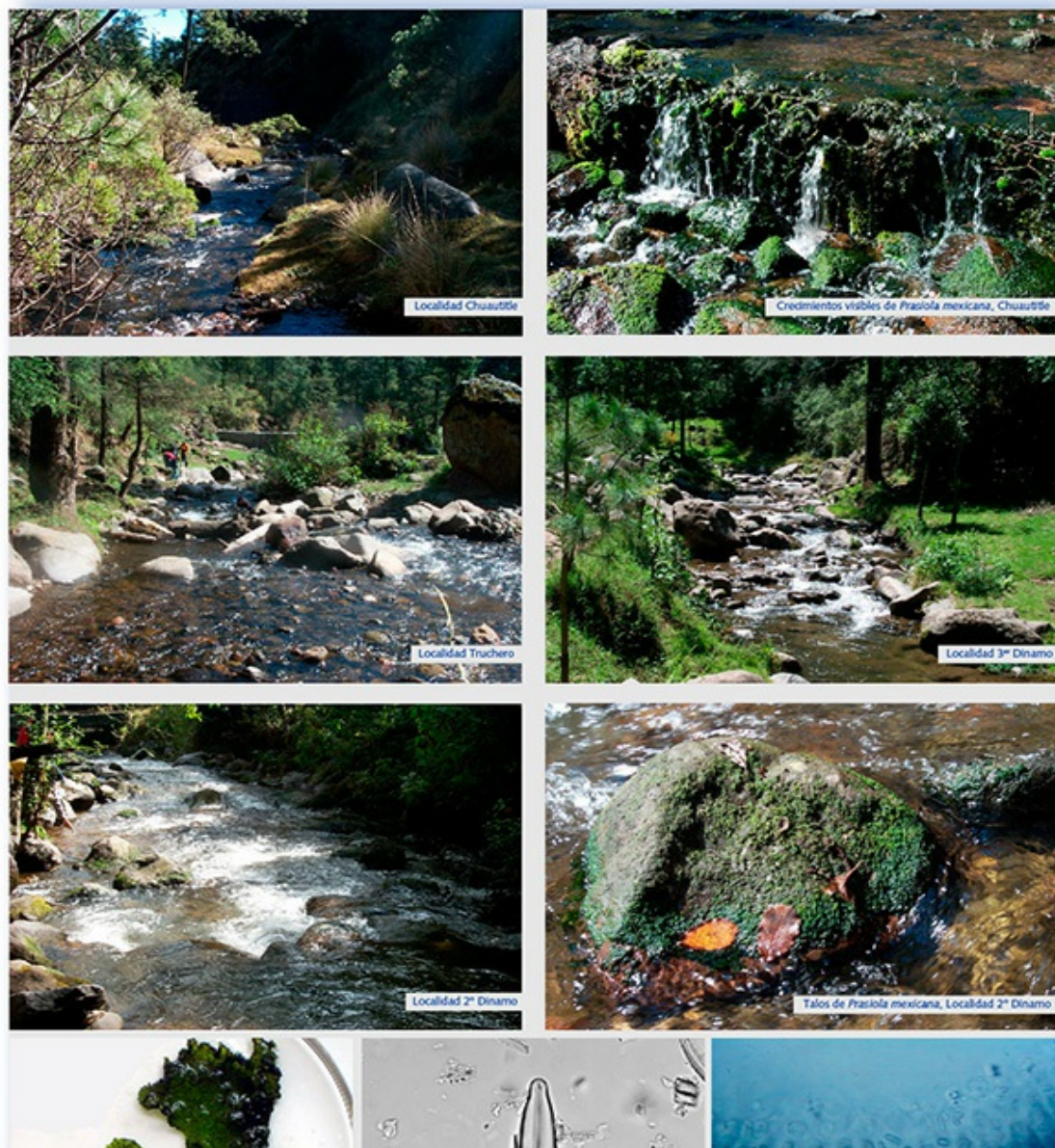
GRUPO TAXONÓMICO	REFERENCIA
Cyanoprokaryota	Desikachary (1959) Geitler (1930-1932) Anagnostidis and Komárek (1985, 1988) Komárek and Anagnostidis (1986, 1989, 1999) Gold-Morgan <i>et al.</i> (1994, 1996) Montejano <i>et al.</i> (1993, 1997) Brody and Ingerfeld (1991).
Bacillariophyceae	Germain (1981) Hustedt (1927-1930, 1930, 1931-1959) Krammer and Lange Bertalot (1986, 1988, 1991a, 1991b) Patrick and Reimer (1966, 1975)
Chlorophyta	Transeau (1951) Ramanathan (1964) Philipose (1967) Prescott <i>et al.</i> (1975) Tavera <i>et al.</i> (2000)
Xanthophyceae	Ventakataran (1961) Se siguió el esquema de clasificación propuesto por Hoek <i>et al.</i> (1995).

## Resultados

Se presenta la relación de 112 especies de algas y su distribución, recolectadas en siete sitios a lo largo del suelo de conservación del río Magdalena, de 1998 a 2006. Estas especies corresponden a 4 divisiones, 8 clases, 26 órdenes, 45 familias y 70 géneros, distribuidas en: 16 Cyanoprokaryota, 5 Chlorophyta, 6 Charophyta y 85 Heterokontophyta.

En total se reconocieron 12 especies de algas que forman crecimientos visibles y nivel de organización<sup>3</sup> filamentosa (domos y tapetes) y pseudoparenquimatosa (láminas y costra) (Figura 2). Por otro lado, se

registraron 100 especies que son microscópicas, entre las que destaca por su número el grupo de las diatomeas epífitas y epilíticas, Clase Coscinodiscophyceae y Bacillariophyceae. Las principales especies que forman los crecimientos visibles fueron *Prasiola mexicana* (Prasiolaceae), *Placoma regulare* (Cyanoprokaryota) y *Vaucheria bursata* (Xanthophyceae), las cuales se registraron en ambas épocas del año y se distribuyeron ampliamente a lo largo del río. Otras especies con presencia estacional fueron las Cyanoprokaryota *Nostoc commune* (Nostocaceae), *Scytonema* sp. (Scytonemataceae), *Oscillatoria limosa* (Oscillatoriaceae) y *Phormidium retzii* (Phormidiaceae). Así como las Chlorophyceae *Oedogonium* sp. (Oedogoniaceae), *Ulothrix* sp. (Ulothrichaceae) y *Mougeotia* sp., *Spirogyra* sp., y *Zygnema* sp. (Characeae).





**Figura 2**

Los siete sitios estudiados difieren en cuanto a la riqueza de especies que presentan. El 4º Dinamo es el que presenta el mayor número, con 106, seguido del 2º Dinamo con 83 y el Truchero con 55 (Tabla 3).

**Tabla 3**

Tabla 3. Diversidad algal en el río Magdalena, comx. Organizadas de acuerdo al sistema de clasificación propuesto por Van den Hoek et al., (1995), donde 1 indica presencia (elaboración propia).

ESPECIES	AUTORIDAD	LOCALIDAD						
		Chauautile	Truchero	La Cañada	1er Dinamo	2o Dinamo	3er Dinamo	4oDinamo
1- División Cyanoprokaryota Clase Cyanophyceae Orden Chroococcales Familia Chamaesiphonaceae <i>Stichosiphon</i> sp.	Geitler							1
Familia Hydrococcaceae <i>Hydrococcus rivularis</i> <i>Placoma regulare</i>	Kützing Broady et Ingerfeld	1	1			1	1	1
Familia Merismopediaceae <i>Mantellum</i> sp.	Dangeard					1		1
Familia Synechococcaceae <i>Synechococcus</i> cf. <i>epigloicus</i>	F. Hindák							1
Familia Xenococcaceae <i>Myxosarcina</i> sp. <i>Xenococcus</i> cf. <i>willei</i>	Printz Gardner					1 1		1 1
Orden Synechococcales Familia Chamaesiphonaceae <i>Chamaesiphon</i> cf. <i>confervicolus</i> <i>Chamaesiphon incrustans</i>	A. Braun Grunow					1		1 1
Orden Nostocales Familia Nostocaceae <i>Nostoc commune</i>	Vaucher ex Bornet & Flahault	1				1		1
Familia Rivulariaceae <i>Calothrix</i> sp.	Agardh						1	1
Familia Scytonemataceae <i>Scytonema</i> sp.	Agardh					1		1
Orden Oscillatoriales Familia Oscillatoriaceae <i>Oscillatoria limosa</i>	Agardh ex Gomont					1		1
Familia Phormidiaceae <i>Phormidium retzii</i> <i>Phormidium</i> sp.	(Agardh) Kützing ex Gomont Kützing					1		1 1
Orden Pseudanabaenales Familia Pseudanabaenaceae <i>Leptolyngbya frigida</i>	(F.E. Fritsch) Anagnostidis & Kovárek							1
2- División Chlorophyta Clase Chlorophyceae Orden Chlorococcales Familia Chlorococcaceae <i>Chlorococcum</i> sp.	Meneghini							1
Orden Oedogoniales Familia Oedogoniaceae <i>Oedogonium</i> sp.	Link					1		1
Familia Scenedesmaceae <i>Scenedesmus armatus</i>	(R. Chodat) R. Chodat					1		1
Clase Trebouxiophyceae Orden Prasiolales Familia Prasiolaceae <i>Prasiola mexicana</i>	J. Agardh	1	1			1	1	1
Clase Ulvophyceae Orden Ulotrichales Familia Ulotrichaceae <i>Ulothrix</i> sp.	Kützing	1				1	1	1

Tabla 3. Diversidad algal en el río Magdalena, comx. Organizadas de acuerdo al sistema de clasificación propuesto por Van den Hoek et al., (1995), donde 1 indica presencia (elaboración propia).

ESPECIES	AUTORIDAD	LOCALIDAD						
		Chuautille	Truchero	La Cañada	1er Dinamo	2o Dinamo	3er Dinamo	4oDinamo
3- División Charophyta Clase Zygnematophyceae Orden Desmidiaceae Familia Closteriaceae <i>Closterium</i> sp.	Nitzsch							1
Familia Desmidiaceae <i>Cosmarium</i> sp.	Corda					1		1
Familia Peniaceae <i>Penium spinospermum</i>	W. Joshua					1		1
Orden Zygnematales Familia Zygnemataceae <i>Mougeotia</i> sp. <i>Spirogyra</i> sp. <i>Zygnema</i> sp.	C.A. Agardh Link Agardh					1		1 1 1
4- División Heterokontophyta Clase Coscinodiscophyceae Orden Aulacoseirales Familia Aulacoseiraceae <i>Aulacoseira granulata</i>	(Ehrenberg) Simonsen	1	1			1	1	1
Orden Melosirales Familia Melosiraceae <i>Melosira</i> sp. <i>Melosira varians</i>	Agardh Agardh	1	1		1	1	1	1
Orden Orthoseirales Familia Orthoseiraceae <i>Orthoseira roeseana</i>	(Rabenhorst) O'Meara					1		1
Orden Thalassiosirales Familia Stephanodiscaceae <i>Cyclotella meneghiniana</i> <i>Cyclotella ocellata</i> <i>Stephanodiscus rotula</i>	Kützing Pantocsek (Kützing) Hendey		1	1		1		1 1 1
Clase Bacillariophyceae Orden Achnanthes Familia Achnantheaceae <i>Achnanthes inflata</i>	(Kützing) Grunow							1
Familia Achnanthidiaceae <i>Achnanthidium exiguum</i> <i>Achnanthidium minutissimum</i> <i>Lemnicole hungarica</i> <i>Pleurothidium lanceolatum</i>	(Grunow) Czarnecki (Kützing) Czarnecki (Grunow) F.E. Round & P.W. Basson (Brébisson ex Kützing) Round L. Bukhtiyarova	1 1 1 1	1 1 1 1		1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1
Familia Cocconeidaceae <i>Cocconeis placentula</i> <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	Ehrenberg (Ehrenberg) van Heurck	1	1	1	1	1 1	1	1 1
Orden Bacillariales Familia Bacillariaceae <i>Denticula elegans</i> <i>Hantzschia amphioxys</i> <i>Nitzschia acicularis</i> <i>Nitzschia amphibia</i> <i>Nitzschia clausii</i> <i>Nitzschia heufferiana</i> <i>Nitzschia inconspicua</i> <i>Nitzschia palea</i> <i>Nitzschia recta</i>	Kützing (Ehrenberg) Grunow (Kützing) W. Smith Grunow Hantzsch Grunow Grunow (Kützing) W. Smith Hantzsch ex Raben- horst	1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1		1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1

Tabla 3. Diversidad algal en el río Magdalena, comx. Organizadas de acuerdo al sistema de clasificación propuesto por Van den Hoek et al., (1995), donde 1 indica presencia (elaboración propia).

ESPECIES	AUTORIDAD	LOCALIDAD						
		Chauautitle	Truchero	La Cañada	1er Dinamo	2o Dinamo	3er Dinamo	4oDinamo
<b>Orden Cymbellales</b>								
<b>Familia Cymbellaceae</b>								
<i>Cymbella leptoceros</i>	(Ehrenberg) Kützing					1		1
<i>Cymbella mexicana</i>	(Ehrenberg) Cleve	1	1		1	1	1	1
<i>Cymbella tumida</i>	(Brébisson) van Heurck	1	1			1		1
<i>Cymbopleura amphicephala</i>	(Nägeli) Krammer		1			1	1	1
<i>Cymbopleura naviculiformis</i>	(Auerswald ex Heiberg) Krammer					1		1
<i>Encyonema minutum</i>	(Hilse) D.G. Mann		1	1		1	1	1
<i>Encyonema norvegica</i>	(Grunow in A. Schmidt et al.) Bukhtyarova					1		1
<i>Encyonema silesiacum</i>	(Bleisch) D.G. Mann	1	1	1	1	1	1	1
<b>Familia Gomphonemataceae</b>								
<i>Gomphonis clevei</i>	(Fricke) Gil	1	1		1	1	1	1
<i>Gomphonema acuminatum</i>	Ehrenberg							1
<i>Gomphonema gracile</i>	Ehrenberg		1					1
<i>Gomphonema parvulum</i>	(Kützing) Kützing			1		1		1
<i>Gomphonema truncatum</i>	Ehrenberg	1				1	1	1
<i>Gomphosphenia grovei</i>	(M. Schmidt)	1	1			1	1	1
<i>Reimeria sinuata</i>	(Gregory) Kociolek & Stoermer	1	1	1	1	1	1	1
<b>Familia Rhoicospheniaceae</b>								
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	(C. Agardh) Lange-Bertalot	1	1	1	1	1	1	1
<b>Orden Eunotiales</b>								
<b>Familia Eunotiaceae</b>								
<i>Eunotia exigua</i>	(Brébisson ex Kützing) Rabenhorst	1	1		1	1	1	
<b>Orden Fragilariales</b>								
<b>Familia Fragilariaceae</b>								
<i>Diatoma mesodon</i>	(Ehrenberg) Kützing	1	1	1	1	1	1	1
<i>Fragilaria bidens</i>	Heiberg		1			1		1
<i>Fragilaria capucina</i>	Desmazières	1	1	1	1	1	1	1
<i>Fragilaria construens</i>	(Ehrenberg) Grunow	1	1		1	1	1	1
<i>Meridion circulare</i> var. <i>constrictum</i>	(Ralfs) van Heurck	1	1		1	1	1	1
<i>Staurosirella pinnata</i>	(Ehrenberg) D.M. Williams & Round	1	1			1	1	1
<i>Ulnaria ulna</i>	(Nitzsch) Compère	1	1		1	1	1	1
<b>Orden Naviculales</b>								
<b>Familia Amphipleuraceae</b>								
<i>Frustulia rhomboides</i>	(Ehrenberg) De Toni							1
<b>Familia Berkeleyaceae</b>								
<i>Berkella linearis</i>	Ross et Sims	1	1			1	1	1
<b>Familia Diadesmidaceae</b>								
<i>Luticola charlatii</i>	(M. Peragallo) Metzeltin & Lange-Bertalot					1		1
<i>Luticola mutica</i>	(Kützing) D.G. Mann	1	1			1	1	1
<i>Luticola nivalis</i>	(Ehrenberg) D.G. Mann					1		1
<b>Familia Diploneidaceae</b>								
<i>Diploneis elliptica</i>	(Kützing) Cleve	1	1			1	1	1
<i>Diploneis oblongella</i>	(Nägeli ex Kützing) Cleve-Euler		1					1
<b>Familia Naviculaceae</b>								
<i>Adlafia minuscula</i>	(Grunow) Lange-Bertalot	1	1			1	1	1
<i>Fistulifera saphophila</i>	(Lange-Bertalot & Bonik) Lange-Bertalot				1			



Tabla 3. Diversidad algal en el río Magdalena, comx. Organizadas de acuerdo al sistema de clasificación propuesto por Van den Hoek et al., (1995), donde 1 indica presencia (elaboración propia).

ESPECIES	AUTORIDAD	LOCALIDAD						
		Chuautille	Truchero	La Cañada	1er Dinamo	2o Dinamo	3er Dinamo	4oDinamo
<i>Navicula capitatoradiata</i>	Germain	1				1	1	
<i>Navicula cryptocephala</i>	Kützing	1	1	1	1	1	1	1
<i>Navicula gregaria</i>	Donkin	1	1			1		1
<i>Navicula pseudocutiformis</i>	Hustedt	1	1			1	1	1
<i>Navicula radiosa</i>	Kützing	1	1		1	1		1
<i>Navicula reinhardtii</i>	(Grunow)					1	1	1
<i>Navicula rynchocephala</i>	Kützing	1	1			1	1	1
<i>Navicula subrynchocephala</i>	Hustedt		1	1	1	1		1
<b>Familia Neidiaceae</b>								
<i>Neidium iridis</i>	(Ehrenberg) Cleve					1		1
<b>Familia Pinnulariaceae</b>								
<i>Caloneis bacillum</i>	(Grunow) Cleve		1			1	1	1
<i>Caloneis silicula</i>	(Ehrenberg) Cleve							1
<i>Pinnularia borealis</i>	Ehrenberg	1	1			1		1
<i>Pinnularia divergentissima</i>	(Grunow) Cleve							1
<i>Pinnularia microstauron</i>	(Ehrenberg) Cleve		1			1		1
<i>Pinnularia similis</i>	Hustedt					1		1
<i>Pinnularia viridis</i>	(Nitzsch) Ehrenberg		1			1		1
<b>Familia Stauroneidaceae</b>								
<i>Craticula cuspidata</i>	(Kützing) D.G. Mann		1			1		1
<i>Stauroneis phoenicenteron</i>	(Nitzsch) Ehrenberg					1		1
<b>Orden Rhopalodiales</b>								
<b>Familia Rhopalodiaceae</b>								
<i>Epithemia turgida</i> var. <i>granulata</i>	(Ehrenberg) Brun	1	1		1	1	1	1
<i>Rhopalodia gibba</i>	(Ehrenberg) O. Müller							1
<i>Rhopalodia gibberula</i>	(Ehrenberg) O. Müller		1			1	1	1
<b>Orden Surirellales</b>								
<b>Familia Surirellaceae</b>								
<i>Surirella angusta</i>	Kützing		1					1
<i>Surirella bifrons</i>	Ehrenberg							1
<i>Surirella brightwellii</i>	W. Smith							1
<i>Surirella minuta</i>	Brébisson					1		1
<i>Surirella tenera</i>	Gregory					1		1
<b>Orden Thalassiophysales</b>								
<b>Familia Catenulaceae</b>								
<i>Amphora commutata</i>	Grunow		1				1	1
<i>Halamphora montana</i>	(Krasske) Levkov		1				1	
<b>Clase Xanthophyceae</b>								
<b>Orden Vaucheriales</b>								
<b>Familia Vaucheriaceae</b>								
<i>Vaucheria bursata</i>	(O. F. Müller) C. Agardh	1	1			1		1
<b>Total</b>		46	55	16	20	83	42	106

De acuerdo a la altitud y las características fisicoquímicas del agua, el río se define como río de montaña (altitud superior a 2,490 m), presentó agua templada (3-15° C), moderadamente ácida (pH 6 - 8.3) y poco mineralizada (51-160  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ). La mayoría de los sitios evaluados presentan un caudal permanente con variable aforo, lo que se puede atribuir a la estacionalidad.

## Discusión

El río Magdalena presenta una riqueza de algas con crecimiento visible conformada por especies de Cyanoprokaryota, Chlorophyta y Charophyta, con proporciones similares a lo reportado en otros estudios para ríos

templados de Norte América (Sheath y Cole, 1992). Las poblaciones con mayor frecuencia estacional estuvieron presentes en sitios cercanos al inicio del río, con una continua y elevada velocidad de corriente: *Placoma regulare*, *Prasiola mexicana* y *Vaucheria bursata*. La presencia de las especies estacionales o exclusivas de un sitio, probablemente están relacionadas con requerimientos ambientales específicos. Por ejemplo, la mayor abundancia de *Mougeotia* sp., *Spirogyra* sp., y *Zygnema* sp. se reporta en ríos con baja velocidad de corriente; o bien, *Nostoc commune* y *Scytonema* en baja intensidad luminosa y baja concentración de nutrientes (Bojorge *et al.*, 2010). La diversidad algal fue relativamente semejante a otros ríos de montaña de la Franja Volcánica Transmexicana (Ramírez *et al.*, 2001; Bojorge, 2002; Ramírez, 2002; Ramírez y Cantoral, 2003; Bojorge *et al.*, 2010), de regiones templadas de América (Sheath y Cole, 1992; Sheath y Vis, 2013) y otras regiones templadas del mundo (Kawecka y Elorant, 1987; Rott y Pfister, 1988; Sheath y Cole, 1992), como *Berkella linearis*, *Encyonema norvegica*, *Diatoma mesodon*, *Meridion circulare* var. *constrictum*, *Navicula pseudocutiformis*, *Orthoseira roeseana*, *Pinnularia borealis* (Bacillariophyceae), *Placoma regulare* (Cyanoprokaryota), *Scenedesmus armatus* (Scenedesmaceae), *Penium spinospermum* (Peniaceae) y *Prasiola mexicana* (Prasiolaceae). También existe un número importante de especies de amplia distribución, pero específicas de los ambientes lóticos (Rott y Pfister, 1988; Van Dam *et al.*, 1994; Soininen *et al.*, 2004), como las diatomeas: *Planothidium lanceolatum*, *Achnantheidium minutissimum*, *Cocconeis placentula*, *Diatoma mesodon*, *Fragilaria capucina*, *Encyonema silesiacum*, *Navicula cryptocephala*, *Reimeria sinuata*, *Rhoicosphenia abbreviata* y *Nitzschia palea*. La elevada altitud y el régimen de lluvias deberían regular los cambios ambientales más importantes relacionados con la estructura de la comunidad algal.

El presente estudio, que involucra la caracterización de la diversidad algal, su distribución y afinidad ambiental, permitió reconocer los cambios y la magnitud espacial y temporal en el río. Las algas que forman crecimientos visibles pueden ser empleadas como indicadores de la calidad ambiental y contribuir al monitoreo del río, por ejemplo, *Prasiola mexicana* y *Vaucheria bursata*, fueron habitantes frecuentes y se

encuentran en sitios poco contaminados, formando crecimientos de color verde sobre las rocas; la primera en láminas y la segunda en tapetes. *Prasiola mexicana*, presenta la misma respuesta en varios ríos de aguas templadas en el sur de California y el centro de México (Carmona y Vilaclara, 2007; Bojorge *et al.*, 2010; Dudley y D'Antonio, 1991). Asimismo, *Placoma regulare* forma colonias epilíticas de color pardo y se describe creciendo en ríos limpios de México (León-Tejera *et al.*, 2003) y Nueva Zelanda (Broady y Ingerfeld, 1991). Del mismo modo, las especies de diatomeas pueden ser empleadas como monitores biológicos, ya que son sensibles a cambios por contaminación del agua. Por ejemplo, algunas especies que han sido reportadas para ríos limpios y poco mineralizados son: *Achnanthis minutissimum*, *Fragilaria capucina*, *Navicula cryptocephala* y *Rhoicosphenia abbreviata* (Van Dam *et al.*, 1994, Soininen *et al.*, 2004, Tornés *et al.*, 2007).

La diversidad algal del río Magdalena forman parte de una comunidad particular por encontrarse en una latitud tropical con afinidad a ríos templados. Ésta característica resalta la necesidad de invertir esfuerzos para conservar su naturalidad, ya que de modificarla, perderíamos gran parte del funcionamiento de los ríos de montaña. El conocimiento de ésta diversidad es la línea base para plantear estudios intensivos sobre la taxonomía, la ecología, su distribución y su empleo como indicadores ambientales.

### **Agradecimientos**

A las autoridades de la Delegación La Magdalena Contreras, coordinadas por el Jefe Delegacional Ing. Héctor Chávez López, quienes apoyaron la investigación a través del convenio Facultad de Ciencias, UNAM - Delegación La Magdalena Contreras, D.F., con el título: *Censo de Biodiversidad del Suelo de Conservación Contrerense* (2005-2006), al Macroproyecto Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano: Cuenca del río Magdalena, SDEI-PTID-02, UNAM. A los proyectos PAPIIT IN219809 e IN211712. A Verónica Aguilar por su apoyo en la elaboración del mapa.

### **Referencias**

Bojorge M.G., 2002. *Ecología de comunidades algales en una localidad*

- del río La Magdalena, D. F.* Tesis profesional. México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bojorge, M. y Cantoral-Uriza, E.A., 2007. Estructura comunitaria de diatomeas asociadas a talos de *Prasiola mexicana* (Chlorophyta) en el río Magdalena, D. F. *Hidrobiológica*, 17(1), pp. 11-22.
- Bojorge, G.M., *et al.*, 2010. Temporal and spatial distribution of macroalgal communities of mountain streams in Valle de Bravo Basin, central México. *Hydrobiologia*, 641, pp. 159-169.
- Broady, P. y Ingerfeld, M., 1991. *Placoma regulare* sp. nov. (Entophysalidaceae, Cyanobacteria) from New Zealand streams. *Phycologia*, 30(6), pp. 547-555.
- Cantoral-Uriza, E. A., *et al.*, 1999. Algas indicadoras de la calidad del agua en el río La Magdalena, Delegación Magdalena Contreras, Distrito Federal, México. *Informe Técnico (Tomo 1: AIRE-AGUA)*. CONSERVA (Consejo de Estudios para la Restauración y Valoración Ambiental). pp. 299-332.
- Carmona, J. y Vilaclara, F.G., 2007. Survey and distribution of Batrachospermaceae (Rhodophyta) in high-altitude tropical streams from central Mexico. *Cryptogamie Algologie*, 28 (3), pp. 271-282.
- Desikachary, T.V., 1959. *Cyanophyta*. Nueva Delhi: Indian Council of Agricultural Research Institute.
- Dudley, T.M y D'Antonio, C.M., 1991. The Effects of Substrate Texture, Grazing, and Disturbance on Macroalgal Establishment. *Streams Ecology*, 72, pp. 297-309.
- García, E., 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Offset Larios, p. 217.
- Iserentant, R., *et al.*, 1999. Méthodes et techniques de préparation des échantillons de diatomées. *Cryptogamie Algology*, 20, pp. 143-148.
- Kawecka, B. y Elorant, P., 1987. Communities of sessil algae in some small streams of central Finland. Comparison of the algae of the high mountains of Europe and those of its northern regions. *Acta Hydrobiologica*, 29 (4), pp. 403-415.
- León-Tejera, H., Montejano, G. y Cantoral-Uriza, E.A., 2003. Some little known Hydrococcaceae (Cyanoprokaryota) from Central Mexico.

- Archiv für Hydrobiologie / Algological Studies*, 109, pp. 363-374.
- Montejano-Zurita, G., *et al.*, 2000. Comunidades acuáticas (algas, macroinvertebrados y ácaros) indicadores de la calidad del agua en ríos permanentes del poniente de la Ciudad de México (Cuajimalpa, Magdalena Contreras y Álvaro Obregón). *Informe Técnico*. Consejo de estudios para la restauración y valoración ambiental CONSERVA (Consejo de Estudios para la Restauración y Valoración Ambiental).
- Ramírez V.M., 2002. *Flora algal de ambientes lóticos en la zona occidental de la cuenca del Valle de México*. Tesis de licenciatura. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ramírez V.M. y Cantoral, E., 2003. Flora algal de ríos templados en la zona occidental de la cuenca del Valle de México. *Anales Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica*, 74 (2), pp. 143-194.
- Ramírez, R.R. y Carmona, J., 2005. Taxonomy and distribution of freshwater *Prasiola* (Prasiolales, Chlorophyta) in central Mexico. *Cryptogamie Algologie*, 26 (2), pp. 177-188.
- Ramírez-Rodríguez, R., Carmona, J. y Martorell, C., 2007. Microhabitat and morphometric variation in two species of *Prasiola* (Prasiolales, Chlorophyta) from streams in central Mexico. *Aquatic Ecology*, 41, pp. 161-168.
- Ramírez, V.M., *et al.*, 2001. Flora Algal del río La Magdalena, Distrito Federal, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 68, pp. 45-67.
- Rott, E. y Pfister, P., 1988. Natural epilithic algal communities in fast-flowing mountain streams and rivers and some man-induced changes. *Verh. International Verein. Limnology*, 23, pp. 1320-1324.
- Sheath, R.G. y Cole K.M., 1992. Biogeography of stream macroalgae in North America. *Journal of Phycology*, 28, pp. 448-460.
- Sheath, R.G. y Vis M.L., 2013. Biogeography of freshwater algae. eLS. En: R.G. Sheath, 2006. *Biogeography of freshwater algae*.
- Soininen, J., Paavola, R., y Muotka, T., 2004. Benthic diatom communities in boreal streams: community structure in relation to environmental gradients and spatial gradients. *Ecography*, 27, pp. 330-

342.

Tornés, E., *et al.*, 2007. Indicator taxa of benthic diatom communities: a case study in mediterranean streams. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 43, pp. 1-11.

Van Dam, H., Mertens, A. y Sinkel, J., 1994. A code checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 28 (1), pp. 117-133.

Van den Hoek, C., Mann, D. y Jahns, H.M., 1995. *Algae: An Introduction to Phycology*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

---

<sup>1</sup> Laboratorio de Ecología Acuática y Algas, Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma México, *campus* Juriquilla, Querétaro.

<sup>2</sup> Laboratorio de Biología de Algas, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma México, *campus* Ciudad Universitaria, Ciudad de México.

Correo electrónico autor responsable: \* [cantoral@ciencias.unam](mailto:cantoral@ciencias.unam)

<sup>3</sup> Grado de complejidad morfológica y funcional de un organismo.

## ESTIMACIÓN DE LA RIQUEZA DE MACROMICETOS EN BOSQUES DE OYAMEL DE LA MAGDALENA CONTRERAS

*José Luis Villarruel-Ordaz*<sup>1\*</sup>, *Joaquín Cifuentes Blanco*<sup>2</sup> y *Sergio Machorro Sámano*<sup>3</sup>

### Introducción

Uno de los grandes problemas que enfrenta la humanidad es la pérdida de la biodiversidad como resultado de las actividades antrópicas, ya sea por una sobreexplotación de los recursos o por la alteración del hábitat. En cualquiera de los casos, es necesario priorizar acciones encaminadas a la conservación a través de un análisis de la diversidad y una correcta evaluación y monitoreo adecuados (Moreno, 2001). Actualmente la importancia de la biodiversidad no está en duda y se han desarrollado una gran cantidad de estrategias para medirla, como un indicador del estado de los sistemas ecológicos. La mayoría de los métodos propuestos se han agrupado en aquellos que se basan en la abundancia relativa de los individuos dentro de las comunidades, y los basados en la determinación del número de especies presentes en una área en particular (riqueza específica), siendo esta última, la manera más simple de cuantificar la diversidad alfa (Moreno, 2001; Villarreal *et al.*, 2006).

Para el caso de los hongos macroscópicos, la estimación de la riqueza de especies ha sido una cuestión difícil, debido al escaso conocimiento que se tiene de ellos. En México, la falta de coordinación entre los programas para el estudio de la biodiversidad en general y el escaso apoyo que se ha recibido, han contribuido a que el avance sea lento (Guzmán, 2008). Hace falta estudiar muchos grupos taxonómicos o regiones geográficas específicas, por lo que es importante proponer estrategias que reviertan ese fenómeno, lo que permitiría establecer una panorámica más real de lo que existe en cada zona. Existen trabajos en donde se determina el número de especies que hay en una región, con base principalmente en la información obtenida de listados taxonómicos; sin embargo, son pocos los que tratan de hacer extrapolaciones para estimar el número total de especies que pudieran estar en un sitio dado (Ramírez-López *et al.*, 2012; Garay, 2013).

La delegación política La Magdalena Contreras ocupa el noveno lugar

en extensión, con una superficie de casi 7 500 ha lo que representa aproximadamente el 5% del total del territorio de la Ciudad de México. De esta superficie, más del 70% es Suelo de Conservación (Ávila-Akerberg *et al.*, 2008) y un poco menos de la mitad de esa área (3 062 ha) tiene una cobertura vegetal representada por bosques de *Abies religiosa* (H.B.K.) Cham. & Schltdl. (Ávila-Akerberg, 2010).

De acuerdo con Guzmán (1977), la micobiota de los bosques de *Abies* es de las más ricas en especies y son varios los estudios sobre macromicetos asociados a ese tipo de vegetación, la mayor parte de los cuales son listados muy generales. El registro de hongos macroscópicos solo en los bosques de *A. religiosa* (oyamel o abeto) de La Magdalena Contreras es de 71 especies (Aguirre-Acosta y Pérez-Silva, 1978; Delgado, 2004; Marmolejo *et al.*, 1981; Mendiola y Guzmán, 1973; Pérez-Silva *et al.*, 1999; Valenzuela *et al.*, 2004 y Villarruel-Ordaz y Cifuentes, 2007); sin embargo, en ninguno de esos trabajos se plantea el problema de establecer el número total de especies que pudieran existir. Bajo ese contexto, en este trabajo se comparan los resultados que se obtienen al emplear diferentes métodos para estimar la riqueza de especies. No se trata de evaluar cuál es el mejor, simplemente se utilizan algunos de ellos para poder estimar el número total de especies presentes en los bosques de oyamel de La Magdalena Contreras, y de esta manera evaluar la completitud del conocimiento que se tiene sobre la diversidad de hongos macroscópicos de la región.

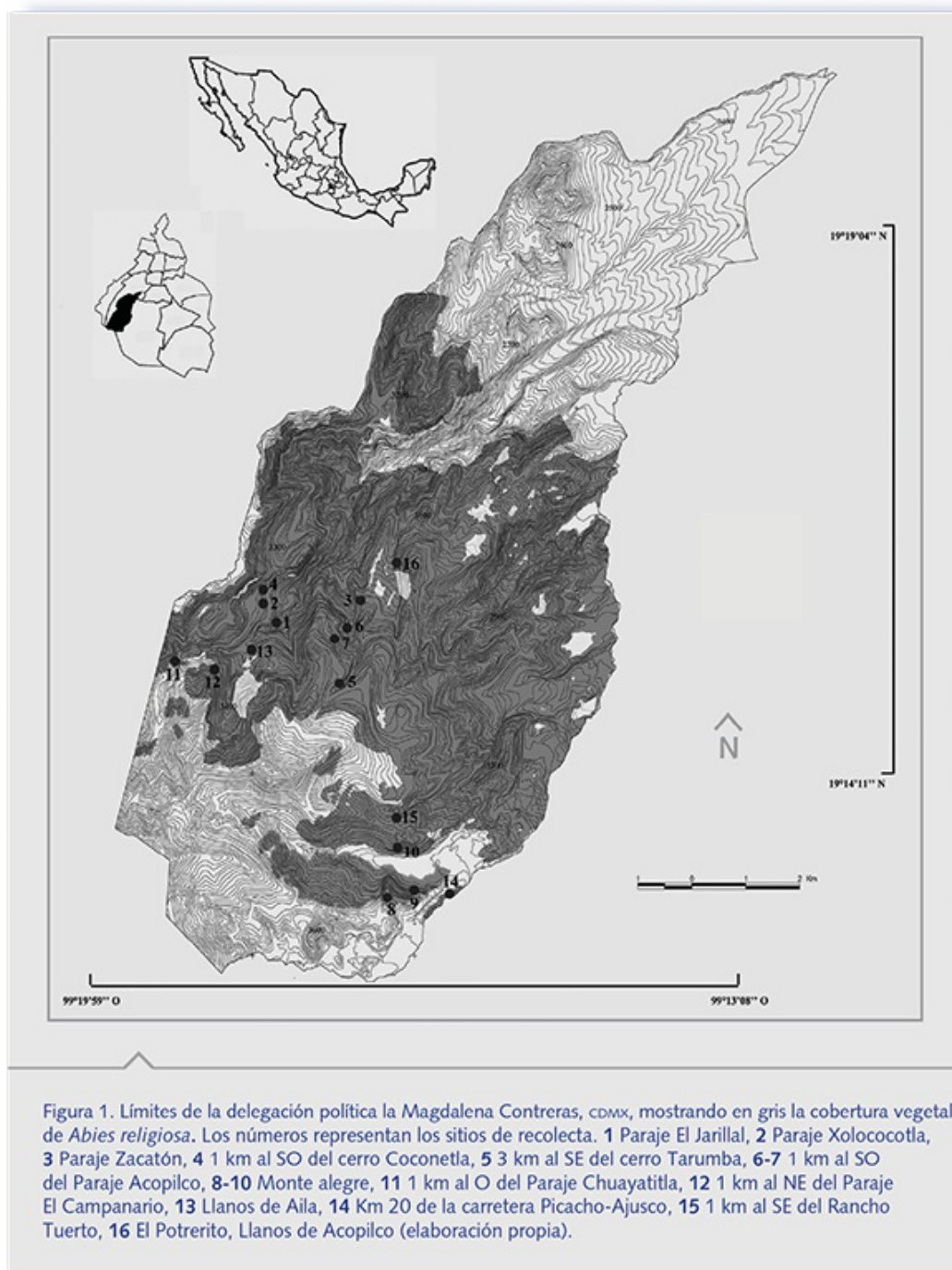
## **Métodos**

Para sistematizar el conocimiento sobre los macromicetos en bosques de *Abies religiosa* en México y poder correlacionar esos datos con nuestra zona de estudio, se determinó el número de especies reportadas para el país en ese tipo de vegetación a partir de una revisión bibliográfica exhaustiva en revistas especializadas, entre las que destacan el *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología*, la *Revista Mexicana de Micología*, la revista *Polibotánica* y la *Revista Mexicana de Biodiversidad*.

Se elaboró una lista de macromicetos, a partir de 187 especímenes recolectados en 19 visitas que se hicieron a la zona de estudio durante las temporadas de lluvia (junio-octubre) del 2004 al 2007. Los especímenes se recolectaron en 16 sitios de la delegación política La Magdalena



Contreras, donde prevalece el bosque de *A. religiosa* (Figura 1).



**Figura 1**

Todo el material fue procesado de acuerdo con las técnicas propuestas por Cifuentes *et al.* (1986), con su respectiva imagen digital en fresco para la mayoría de los ejemplares, como material de apoyo para la identificación taxonómica (Villarruel-Ordaz y Cifuentes, 2006). Todos los ejemplares recolectados se encuentran depositados en la colección de

macromicetos del herbario FCME de la Facultad de Ciencias, UNAM.

Se calculó el total de especies que pueden hallarse en la zona de estudio, elaborando una curva de acumulación considerando el número de recolectas realizadas y las especies registradas para la zona (incluyendo las identificadas en este trabajo y las previamente citadas por otros autores). Para la construcción de la curva se utilizaron los programas estadísticos EstimateS ver. 8.2 (Colwell, 2011) y Statistica ver. 6.0 (Statsoft, 1998). Se utilizó el modelo exponencial:  $y=(a[1-\exp(-bx)])/b$ , donde  $a$  corresponde a la tasa de incremento de nuevas especies y  $b$  es un parámetro que tiene que ver con la forma de la curva (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). El modelo establece que a medida que la lista de especies crece, la probabilidad de añadir una especie nueva disminuye de forma exponencial, haciendo que la probabilidad de encontrar una nueva especie nunca sea cero. Se recomienda usar este modelo cuando la región o área estudiada es muy extensa o los grupos biológicos son poco conocidos (Villarreal *et al.*, 2006).

A la par del análisis estadístico, se desarrolló un modelo matemático con los mismos datos de recolectas y especies acumuladas en cada recolecta. Este modelo supone que el número de especies acumuladas se estabilizará a un valor límite cuando el número de recolectas es lo suficientemente grande, por lo que la relación entre las variables mencionadas se rige por una ecuación diferencial, en donde la velocidad de incremento en el número de especies será decreciente linealmente en relación con el número de recolectas. Para determinar la confiabilidad del modelo fue necesario calcular el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y la dispersión de datos usando el error estándar ( $S$ ) de la aproximación (Chapra y Canale, 2011).

Por otro lado, se calculó el número total de especies en la zona de estudio considerando lo que se conoce de la relación que existe con otros organismos en términos del número de especies. Se tomaron como base estimaciones realizadas por algunos especialistas como Cifuentes *et al.* (1996) quienes establecen una relación de plantas vasculares: macromicetos de 1:3.5; o Hawksworth (1991; 2001) quien propone una relación de 1:6 (plantas vasculares: hongos). Este autor considera tanto macro como micromicetos por lo que es necesario tomar en cuenta

solamente entre el 23 y 25% del total de todos esos hongos los cuales corresponden a los macromicetos (Guzmán, 2008; Rossman, 1994).

Por último, se estimó el número de especies para nuestra área de estudio comparando con lo que se sabe en otras regiones geográficas en donde se tiene un buen registro de macromicetos; por ejemplo, en las Smoky Mountains del este de Estados Unidos de América, donde la diversidad de macromicetos ha sido bastante estudiada y su conocimiento es muy completo (Cifuentes *et al.*, 1996).

## **Resultados**

De acuerdo con la bibliografía consultada, en un periodo de 37 años (1970-2007), se han citado 433 especies de macromicetos en bosques de *Abies religiosa* en México; sin embargo, es necesario considerar que el conocimiento en general es muy fragmentado y aún existen muchas zonas por estudiar.

La revisión de 187 ejemplares de macromicetos provenientes de la zona de estudio mostró un resultado de 139 morfoespecies distintas (taxones distinguibles sin considerar necesariamente una identificación a nivel de especie), de las cuales 90 de ellas se determinaron taxonómicamente a nivel de especie (aproximadamente el 65%). De ese número, 34 ya habían sido citadas previamente, por lo que el incremento absoluto en el conocimiento de la diversidad macrofúngica en los bosques de oyamel de La Magdalena Contreras fue del 79% (56 especies) (Tabla 1).

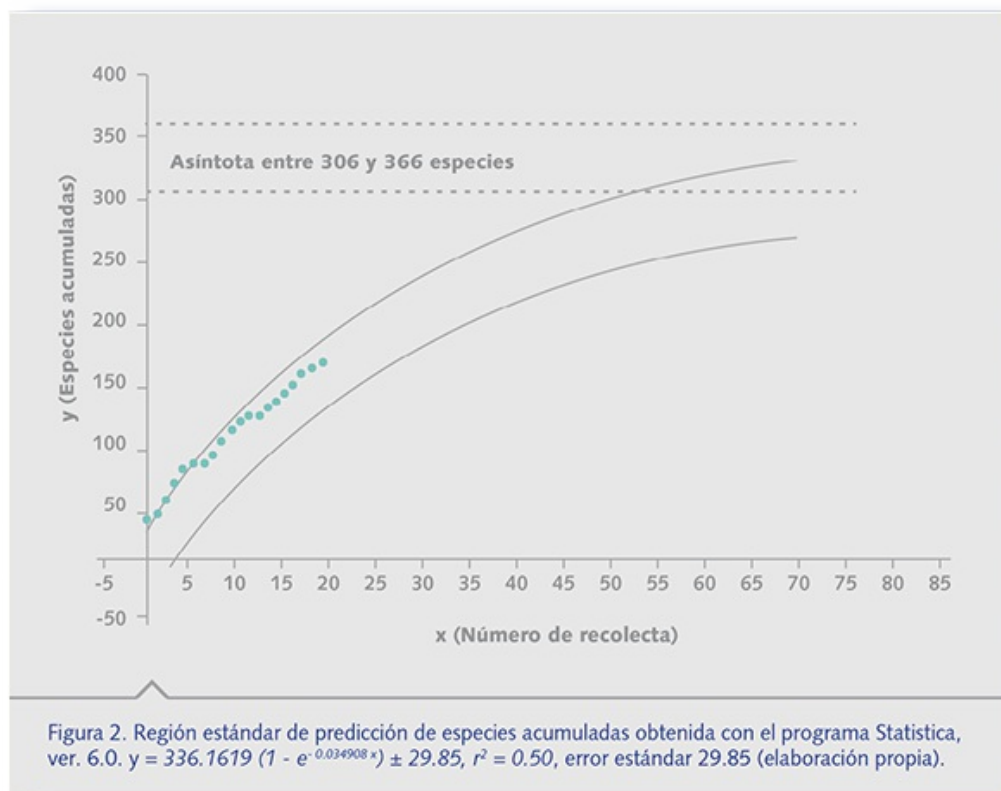
**Tabla 1**

Tabla 1. Ubicación taxonómica de las especies citadas en este trabajo y que representan nuevos registros para los bosques de oyamel de la Magdalena Contreras. (Clasificación basada en Cifuentes, 2008, Kirk *et al.*, 2008 y el Index Fungorum, 2015).

<p><b>Ascomycota</b>  <b>Leotiomycetes</b>  <b>Helotiales</b>  <b>Leotiaceae</b>  <i>Leotia lubrica</i> (Scop.) Pers.  <b>Peizizomycetes</b>  <b>Peiziales</b>  <b>Helvellaceae</b>  <i>Helvella crispa</i> (Scop.) Fr.  <i>Helvella lacunosa</i> Afzel.  <b>Morchellaceae</b>  <i>Morchella elata</i> Fr.  <b>Pezizaceae</b>  <i>Peziza varia</i> (Hedw.) Alb. &amp; Schwein.  <b>Pyrenomataceae</b>  <i>Otidea bufonia</i> (Pers.) Boud.  <i>Otidea onotica</i> (Pers.) Fuckel</p>	<p><b>Cortinariaceae</b>  <i>Cortinarius croceus</i> (Schaeff.) Gray  <i>Phaeocollybia christinae</i> (Fr.) R. Heim  <b>Hygrophoraceae</b>  <i>Chromosera cyanophylla</i> (Fr.) Redhead, Ammirati &amp; Norvell  <b>Inocybaceae</b>  <i>Inocybe albomarginata</i> Velen.  <i>Inocybe assimilata</i> Britzelm.  <i>Inocybe langei</i> R. Heim  <i>Inocybe leucoblema</i> Kühner  <i>Inocybe personata</i> Kühner  <i>Inocybe phaeoleuca</i> Kühner  <i>Inocybe tarda</i> Kühner  <b>Marasmiaceae</b>  <i>Clitocybula lacerata</i> (Scop.) Métrod  <b>Physalacriaceae</b>  <i>Amillaria mellea</i> (Vahl) P. Kumm.  <b>Pluteaceae</b>  <i>Pluteus cervinus</i> (Schaeff.) P. Kumm.  <b>Strophariaceae</b>  <i>Stropharia coronilla</i> (Bull.) Quéf.  <i>Stropharia pseudocyanea</i> (Desm.) Morgan  <b>Tricholomataceae</b>  <i>Clitocybe concava</i> (Scop.) Gillet  <i>Clitocybe gibba</i> (Pers.) P. Kumm.  <i>Cyptotrama chrisopepla</i> (Berk. &amp; M.A. Curtis) Singer  <i>Myxomphalia maura</i> (Fr.) Hora  <b>Incertae sedis</b>  <i>Panaeolus semiovatus</i> (Sowerby) S. Lundell &amp; Nannf.  <b>Thelephorales</b>  <b>Bankeraceae</b>  <i>Hydnellum concrecens</i> (Pers.) Banker  <i>Sarcodon scabrosus</i> (Fr.) P. Karst.  <b>Thelephoraceae</b>  <i>Thelephora anthocephala</i> (Bull.) Fr.  <i>Thelephora palmata</i> (Scop.) Fr.  <b>Dacrymycetes</b>  <b>Dacrymycetales</b>  <b>Dacrymycetaceae</b>  <i>Dacrymyces variisporus</i> McNabb  <i>Dacryopinax spathularia</i> (Schwein.) G.W. Martin</p>
<p><b>Basidiomycota</b>  <b>Agaricomycetes</b>  <b>Agaricales</b>  <b>Agaricaceae</b>  <i>Agaricus sylvaticus</i> Schaeff.  <i>Cystoderma amianthinum</i> (Scop.) Fayod  <i>Lycoperdon pyriforme</i> Schaeff.  <b>Amanitaceae</b>  <i>Amanita flavoconia</i> G.F. Atk.  <i>Amanita fulva</i> Fr.  <b>Clavariaceae</b>  <i>Clavulinopsis luteoalba</i> (Rea) Corner  <b>Boletales</b>  <b>Boletaceae</b>  <i>Porphyrellus zaragozae</i> Singer &amp; J. García  <i>Tylopilus porphyrosporus</i> (Fr. &amp; Hök) A.H. Sm. &amp; Thiers  <b>Gomphidiaceae</b>  <i>Gomphidius maculatus</i> (Scop.) Fr.  <b>Sclerodermataceae</b>  <i>Scleroderma bovista</i> Fr.  <b>Cantharellales</b>  <b>Cantharellaceae</b>  <i>Cantharellus melanoxeros</i> Desm.  <b>Gomphales</b>  <b>Gomphaceae</b>  <i>Ramaria flava</i> (Schaeff.) Quéf.  <b>Hymenochaetales</b>  <b>Hymenochaetaceae</b>  <i>Coltricia cinnamomea</i> (Jacq.) Murrill  <b>Polyporales</b>  <b>Meruliaceae</b>  <i>Hypochnicium lundellii</i> (Bourdot) J. Erikss.  <b>Russulales</b>  <b>Auriscalpiceae</b>  <i>Lentinellus ursinus</i> (Fr.) Kühner  <b>Lachnocladiaceae</b>  <i>Asterostroma muscicola</i> (Berk. &amp; M.A. Curtis) Masee  <b>Peniophoraceae</b>  <i>Peniophora incarnata</i> (Pers.: Fr.) P. Karst.  <b>Russulaceae</b>  <i>Lactarius deliciosus</i> (L.) Gray  <i>Russula murrilli</i> Burl.  <i>Russula puellaris</i> Fr.</p>	

La curva de acumulación de especies generada a partir del análisis de 176 especies (56 determinadas en este trabajo, más 71 previamente citadas y los 49 morfos no determinados taxonómicamente a nivel de especie) y utilizando el modelo exponencial con los programas estadísticos, tenemos que  $a = 11.73474$ , lo que representa la tasa máxima de incremento de nuevas especies, y  $b = 0.03491$ , que es un parámetro que tiene que ver con la forma de la curva. Al hacer el cálculo de  $r^2$  se obtiene un valor de 0.50, lo que indica que existe un 50% de ajuste de nuestros datos al modelo. Asimismo, se calculó  $S$ , que resultó ser un valor bastante alto (29.85), lo

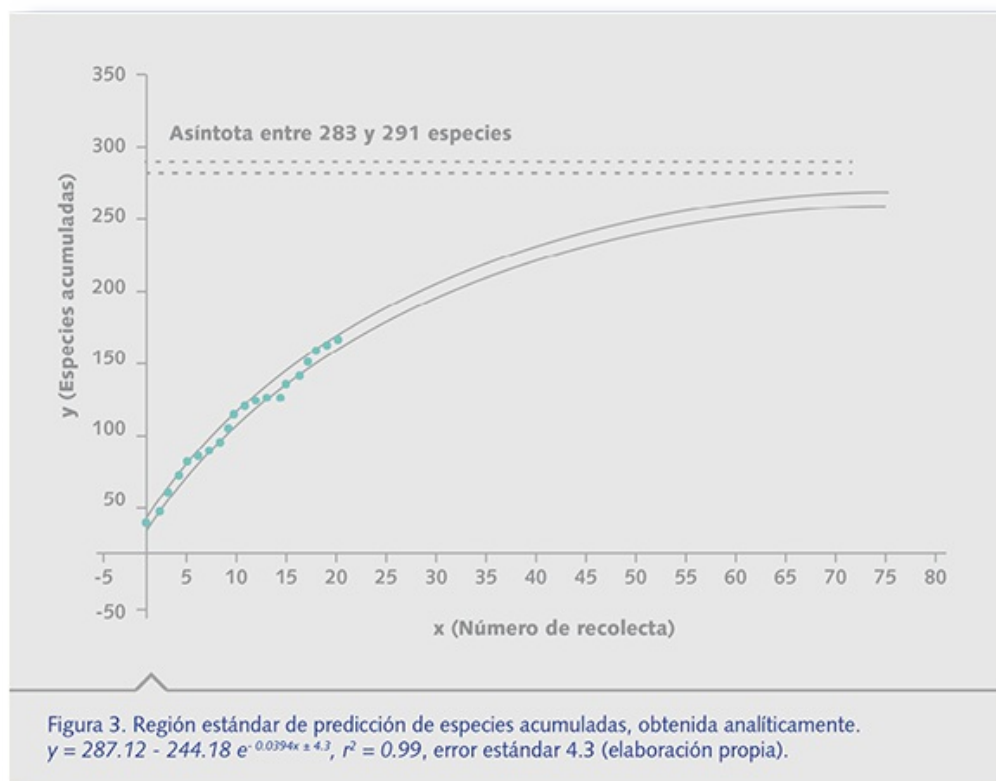
que indica que existe una alta dispersión de los puntos alrededor de la línea de regresión (Figura 2). El cociente entre  $a/b$  determina la asíntota, la cual corresponde al número de especies que se estima existen en la zona de estudio, que para nuestro caso son 336 especies.



**Figura 2**

El modelo matemático que desarrollamos de manera analítica, parte del supuesto de que la relación entre el número de especies acumuladas y el número de recolectas se rige por una ecuación diferencial:  $dy/dx = \alpha - \beta y$ , cuya solución es:  $y = \gamma - C(e)^{-\beta x}$ , en donde  $\gamma$  corresponde a la asíntota,  $C$  es una constante de integración y  $\beta$  es un parámetro que tiene que ver con la forma de la curva (Glenn, 2006). Esta ecuación tiene tres parámetros desconocidos ( $C$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ ), por lo que deben de sustituirse con tres condiciones tomadas de nuestros datos originales y así obtener un modelo específico que tenga el mayor coeficiente de determinación. El modelo más representativo se obtuvo con un valor de  $r^2 = 0.99$ , lo que nos indica que existe un 99% de ajuste de los datos al modelo desarrollado. Los parámetros encontrados se sustituyeron en la ecuación general para obtener el modelo de mejor ajuste que fue:  $y = 287.12 - 244.12e^{-0.0394x}$ . Se calculó la dispersión de los datos alrededor de la línea de regresión, usando

el error estándar ( $S$ ) de la aproximación, obteniendo como valor de  $S = 4.3$  especies, que sumando y restando al modelo obtenido se genera una región de predicción, cuyos límites superior e inferior se muestran en la figura 3. Para nuestro modelo, la asíntota ( $\gamma$ ) representa el máximo número de especies que se pueden encontrar en la zona de estudio, que para este caso son 287 especies.



**Figura 3**

De acuerdo a la relación de 1:3.5 entre plantas vasculares y macromicetos, propuesta por Cifuentes y colaboradores en 1996, el valor estimado de especies en nuestra zona de estudio es de 525 tomando en cuenta que existen aproximadamente 150 especies de plantas vasculares asociadas al bosque de *A. religiosa* (Ávila-Akerberg com. pers. 2012); mientras que, empleando la relación de Hawksworth (1991) y sólo la parte que corresponde a los macromicetos, los cálculos respectivos arrojan un valor alrededor de 207 a 225 especies.

Se sabe que en las Smoky Mountains hay aproximadamente 1 240 especies de Agaricales, un grupo de macromicetos bastante representativo y que, según nuestra experiencia, pueden llegar a constituir hasta el 50% de los hongos macroscópicos. Las Smoky Mountains tienen una superficie

de 17 500 ha, es decir, 5.7 veces más que la superficie que ocupan los bosques de oyamel en La Magdalena Contreras. Si hacemos los cálculos correspondientes, obtenemos como resultado un valor de 435 especies de macromicetos que posiblemente existen en el área estudiada. Si consideramos que en esa región del este de Estados Unidos existen alrededor de 1,200 plantas vasculares y aplicamos la relación de 1:6 propuesta por Hawksworth (1991) y considerando la proporción que corresponde a los macromicetos, tendríamos como cálculo para nuestra área de estudio un valor de 290 a 316 especies con relación a la superficie que ocupan las Smoky Mountains.

### **Discusión**

En México hay alrededor de 433 especies de macromicetos reportadas en bosques de oyamel (Castillo *et al.*, 1979; Delgado, 2004; Frutis *et al.*, 1985; Reygadas *et al.*, 1995; Sierra y Cifuentes, 1993; Valenzuela *et al.*, 2004; Villarruel-Ordaz y Cifuentes, 2007; Villarruel-Ordaz *et al.*, 1993 y Zarco, 1986, entre otros); sin embargo, este número no representa el total de especies que pueden existir, ya que, como se ha mencionado anteriormente, se necesita hacer una estimación, algunas veces basada en la relación que tienen los macromicetos con otros organismos, o en función de lo que se conoce en otras regiones. Muller *et al.* (2007) señalan que en zonas templadas la relación es de un macromiceto por cada dos especies de plantas vasculares. Nosotros suponemos para nuestra zona de estudio una relación inversa (una planta vascular por dos macromicetos) ya que se trata de macromicetos asociados a bosques templados, pero con la característica de que son bosques que se encuentran en una zona de confluencia entre dos grandes regiones biogeográficas, por lo que los bosques y su microbiota asociada tienen elementos de origen, tanto neártico como neotropical, por lo que la diversidad es mayor (Guzmán, 2008; Guzmán *et al.*, 1997). Si tomamos como válida nuestra suposición, y considerando que para la Faja Volcánica Transmexicana (FVT), en donde se localiza la mayor parte de los bosques de *Abies religiosa*, Sánchez-González *et al.* (2005) señalan la presencia de 510 especies de flora vascular acompañante, el número estimado de macromicetos de bosques de *A. religiosa* en la FVT sería de 1,020 especies. No obstante, si tomamos en consideración ese mismo número de plantas, pero utilizando la

extrapolación propuesta por Hawksworth (1991) y la proporción de macromicetos que señala Rossman (1994), se estimaría la presencia de 612 especies de macromicetos. Es válido pensar que estos cálculos pueden ser sobre o subestimaciones, por lo que podemos considerar entonces el promedio de ambas y determinar que la macromicobiota asociada a los bosques de *A. religiosa* en México, oscila alrededor de 800 especies y que por lo tanto las 433 especies reportadas representan el 54% de esa diversidad.

Para la zona de estudio, los resultados obtenidos de la lista de especies en este trabajo (Tabla 1) y las que se conocían previamente, permiten establecer que en los bosques de oyamel de La Magdalena Contreras se registran 127 especies determinadas taxonómicamente; esto representa casi una tercera parte (29%) de lo que se conoce actualmente para los bosques de abeto en México. Existen 49 morfoespecies que requieren ser estudiadas taxonómicamente las cuales incrementarían notablemente el conocimiento real de los macromicetos en la zona de estudio.

Considerando válido nuestro cálculo de 800 especies de macromicetos, podemos establecer que el conocimiento de estos hongos en nuestra zona de estudio, con respecto a lo que puede existir en México, sería apenas de un 16%; un valor muy bajo si se compara con lo que se conoce en otras regiones que poseen el mismo tipo de vegetación; por ejemplo, Villarruel-Ordaz *et al.* (2001) y Cifuentes *et al.* (2012), señalan que en la Reserva Especial de la Biósfera Mariposa Monarca (REBMM), en la porción que corresponde a la sierra Chincua en el estado de Michoacán, coexisten alrededor de 430 especies de macromicetos en una superficie de 1 062 ha, sólo una tercera parte de la superficie con bosque de abetos que presenta La Magdalena Contreras, lo que nos confirma que el conocimiento en nuestra zona de estudio es escaso. Es importante notar que las variaciones ambientales pueden afectar de diversa manera la presencia de especies en distintas regiones (Zak y Willig, 2004). La enorme diferencia observada en el número de especies puede deberse, principalmente, a que la REBMM es una zona federal protegida y a que el deterioro ambiental por parte de las actividades antropogénicas es muy escaso en comparación de lo que sucede en La Magdalena Contreras, en donde los bosques se encuentran muy cerca de uno de los mayores



complejos urbanos del mundo (la Zona Metropolitana de la Ciudad de México) lo que ha generado perturbación humana desde hace muchos años, como son los desmontes, la tala inmoderada, los incendios provocados para abrir áreas al pastoreo y la contaminación atmosférica, lo que ha ocasionado pérdida de la diversidad.

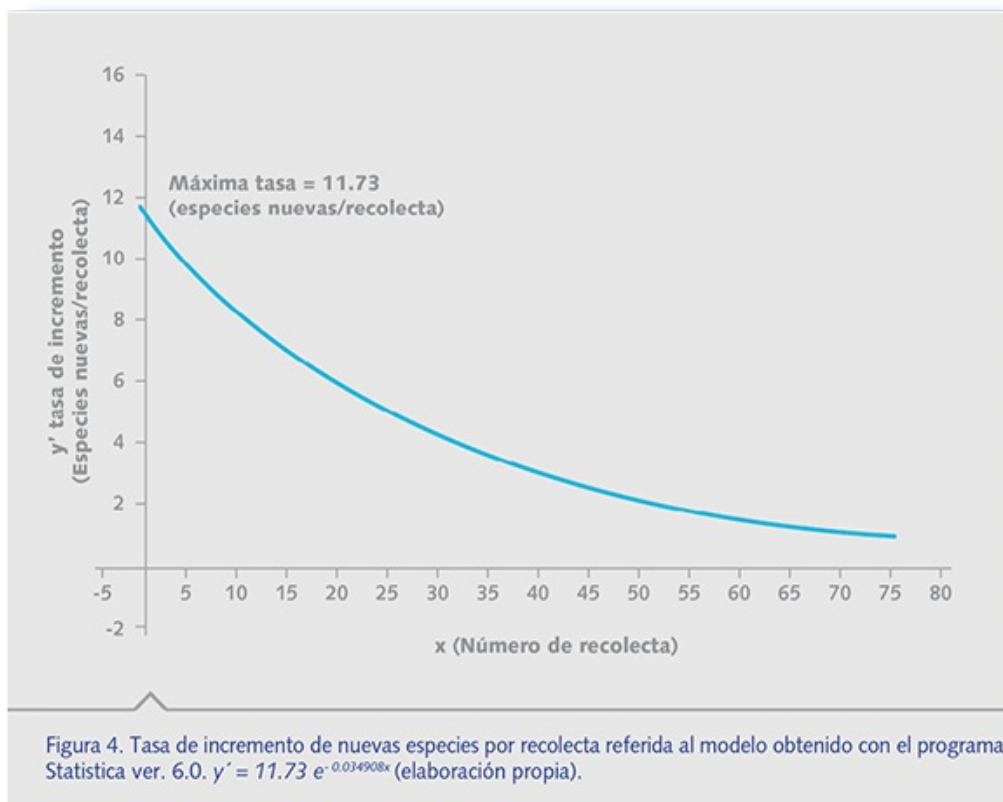
Las curvas de acumulación son un buen parámetro para estimar el total de especies potenciales, evaluar la completitud de los inventarios y tener una mejor planificación del trabajo de muestreo, tras estimar el esfuerzo requerido para conseguir inventarios más confiables (Soberón y Llorente, 1993; Gotelli y Colwell, 2001). En este trabajo, la curva de acumulación que se obtiene al utilizar un modelo exponencial, determinó un valor asintótico de 336 especies. La completitud del inventario, traducido como el estado de conocimiento, se puede conocer a partir del cociente del número de especies observado entre el número de especies esperado (176/336), que para el caso del inventario sería del 0.52; esto indica que conocemos el 52% del total de las especies y que para conocer el restante 48% se requieren más de 190 recolectas. Este modelo tiene la desventaja de que tanto  $r^2$  (50%) como  $S$  (29.85) nos indican que existe mucha dispersión y muy poco ajuste de nuestros datos al modelo exponencial, por lo que los datos generados deben de tomarse con cierta reserva.

En cuanto al modelo matemático, podemos decir que se ajustó mejor a nuestros datos, ya que el coeficiente de determinación fue muy alto (99%) y el error estándar muy bajo (4.3). De igual manera, podemos decir que el valor asintótico en nuestro modelo es de 287 especies, que representa el total de especies que potencialmente existen en los bosques abetos de La Magdalena Contreras. El estado de conocimiento sería entonces del orden del 61% y, a partir de eso, se deberán establecer los criterios para determinar en qué momento es conveniente dar por finalizado el proceso de recolecta y estimar, de acuerdo al modelo, el porcentaje de especies no registradas; por ejemplo, para los 19 muestreos que se hicieron en cuatro años (2004-2007) faltarían por registrarse el 39% del total de las especies, lo que implicaría la realización de 80 muestreos más.

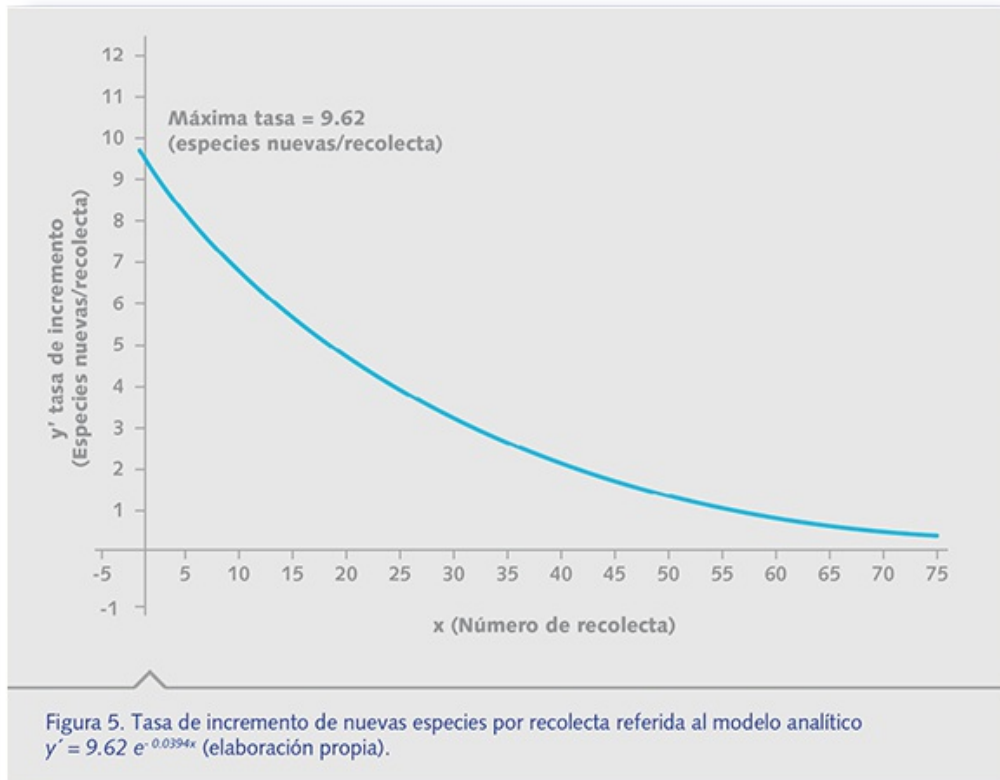
En cualquiera de los dos casos anteriores, podemos afirmar que la velocidad con que se registran nuevas especies disminuye respecto al

número de recolectas, como se puede observar en las figuras 4 y 5, en donde la tendencia de la curva muestra una aproximación a cero, mientras crece el número de recolecciones, por lo que esto es un indicador de que el número de especies encontradas ya no variará significativamente al seguir realizando más recolectas.

Los cálculos realizados a partir de las proporciones sugeridas por varios autores pueden ser cuestionables, pues se basan en el conocimiento sobre regiones específicas; por ejemplo, Hawksworth (1991) establece su relación plantas vasculares-hongos de lo que se conoce en la Gran Bretaña y si bien es cierto que las condiciones ecológicas son distintas a las que se encuentran en México, pero como lo señala Guzmán (1995; 1998), es conveniente tener un punto de referencia firme ya que Gran Bretaña es la región del mundo que mejor conocimiento tiene en lo que a hongos se refiere. Por su lado, Cifuentes *et al.* (1996) señalan una relación de 1:3.5 y, aunque se trata de un estudio realizado en México, se basa en una zona mucho más extensa y con un tipo de vegetación totalmente distinta.



**Figura 4**



**Figura 5**

Se ha señalado que cuando los inventarios no son completos, la comparación directa de los mismos no es posible (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003), aunque el esfuerzo de muestreo en cada uno de ellos sea idéntico. Ésta es una cuestión que pasa desapercibida para muchos investigadores, y abundan los trabajos en los cuales se compara directamente el número bruto de especies obtenido a partir de los muestreos de campo. Esta práctica suele, por lo tanto, producir resultados erróneos (Gotelli y Colwell, 2001); sin embargo, pueden ser considerados como una buena aproximación y, más aún, cuando lo que se requiere es estimar la riqueza específica en una determinada región.

Se sabe que cuando se elabora un inventario, durante los primeros muestreos se recolecta una gran cantidad de especies las cuales son consideradas comunes (Figura 6), y a medida que avanza el inventario es más difícil acumular especies, debido que hacia el final aparecen las especies raras, las invasoras o las que se encuentran en un proceso de recambio (diversidad beta). En el caso de los hongos, además de esa situación, también es importante tener en cuenta que una variación en las condiciones ambientales puede generar cambios en la presencia de las

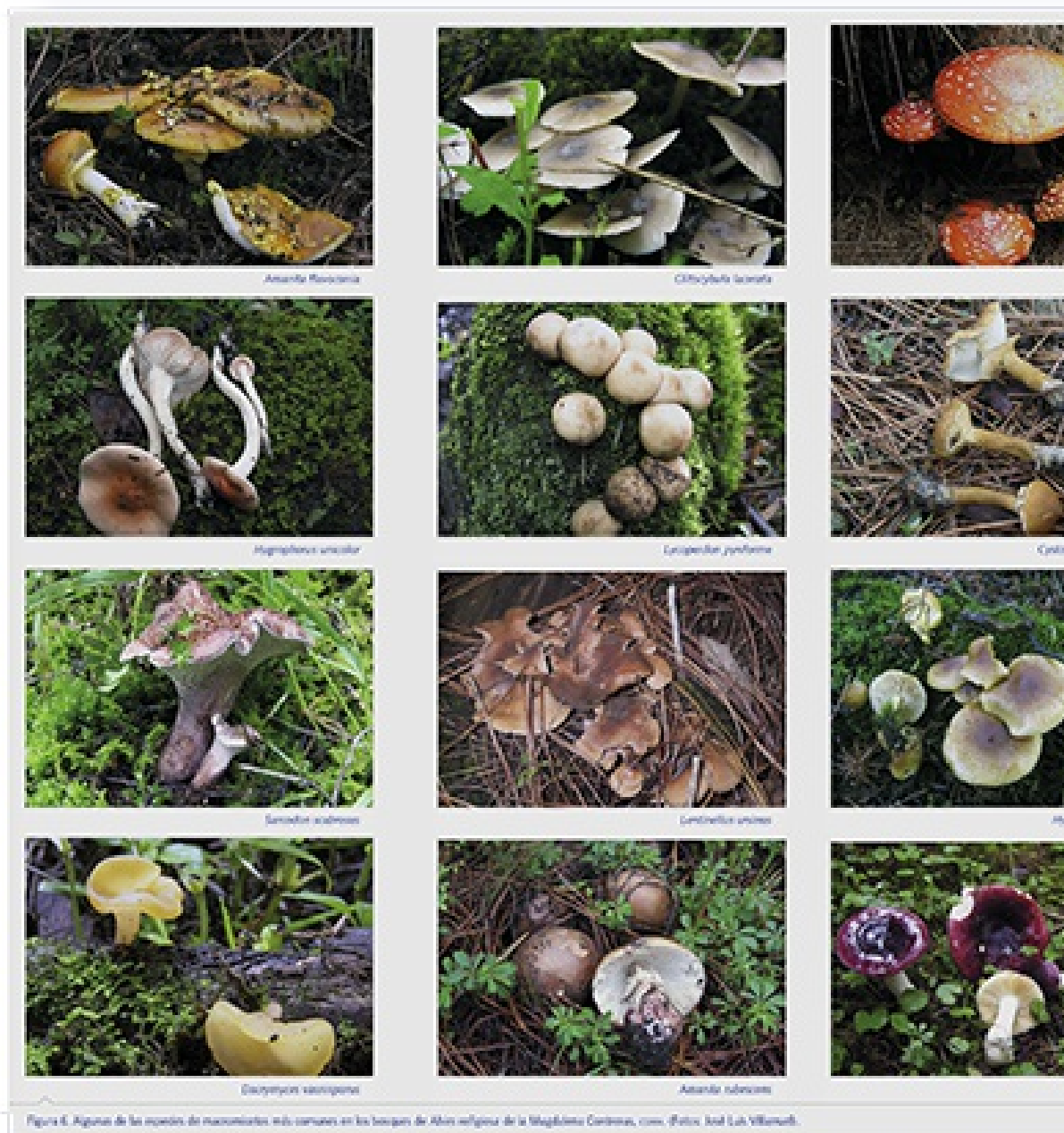
fructificaciones, de tal manera que algunas especies pueden fructificar un año y dejar de aparecer hasta por tres o cuatro años, lo que influye en gran medida en los resultados. No existe ninguna recomendación precisa para la duración de un inventario, pero muchos investigadores señalan un mínimo de cinco años, aunque sería deseable 10 o 12 años (O'Dell *et al.*, 2004); no obstante, se debe considerar que los recursos humanos y financieros son frecuentemente limitados. Las técnicas moleculares abren una puerta enorme para acelerar la adquisición de conocimiento sobre la diversidad, sin embargo, en muchas ocasiones se presentan limitaciones teóricas y prácticas, debido al escaso número de marcadores moleculares bien definidos (Hernández, 1999).

Hicimos un cálculo con base en nuestros datos para conocer el tiempo mínimo que debería durar el inventario en la zona de La Magdalena Contreras, para lo cual consideramos que en un periodo de cuatro años se realizaron 19 muestreos, esto es casi 5 muestreos en promedio por año. Si se requiere realizar 80 muestreos más para tener el 100% del inventario, necesitaríamos poco más de 16 años. Podríamos sugerir aumentar el esfuerzo de recolecta realizando más visitas por año, quizá de dos a cuatro recolectas por mes, durante toda la temporada de lluvias (junio-octubre), lo que resultaría visitar el sitio de estudio de 10 a 20 veces al año. Si hacemos nuevamente el cálculo para conocer el 100% de la diversidad de macromicetos, el resultado sería de cuatro a 10 años.

Determinar el número de especies que puede existir en una región específica es una cuestión bastante compleja, los diferentes métodos empleados en este trabajo lo demuestran. Si consideramos en promedio los resultados obtenidos empleando la extrapolación de proporciones propuestas por algunos autores, así como los obtenidos a partir de la construcción de las curvas de acumulación, para nuestra zona de estudio podrían existir alrededor de 328 especies de macromicetos. Si este dato es correcto y consideramos las especies registradas, podemos asumir que el conocimiento de los macromicetos en los bosques de *A. religiosa* en La Magdalena Contreras es de apenas 39%.

La comunidad vegetal conformada por bosques de *Abies religiosa* posee un alto valor en la prestación de servicios ambientales (Ávila-Akerberg, 2010) y, es por eso que entre más conozcamos de nuestros

recursos mejores estrategias de manejo podemos plantear y mayores beneficios podemos obtener. Ante esta potencial diversidad, es altamente recomendable plantear programas de conservación, además de los programas de restauración ecológica en las zonas perturbadas de La Magdalena Contreras.



**Figura 6**

### **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo recibido dentro del Macroproyecto “Manejo de Ecosistemas y Desarrollo

Humano”, SDEI-PTID-02; y parcialmente al Proyecto PAPIIT IN-207311. Agradecemos al Laboratorio de Ecosistemas de Montaña de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, por las facilidades brindadas durante el trabajo de campo; y a la Universidad del Mar, campus Puerto Escondido por las facilidades otorgadas durante la última etapa en la elaboración del manuscrito.

## Referencias

- Aguirre-Acosta, E. y Pérez-Silva, E., 1978. Descripción de algunas especies del Género *Laccaria* (Agaricales) de México. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología*, 12, pp. 33-58.
- Ávila-Akerberg, V., 2010. *Forest quality in the southwest of Mexico City. Assessment towards ecological restoration of ecosystem services*. Freiburg: Culterra 56. Institut für Landespflege.
- Ávila-Akerberg, V., et al., 2008. Refugio de fitodiversidad en la ciudad de México, el caso de la cuenca del río Magdalena. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 2(1), pp. 605- 619.
- Castillo, J., García, J. y San Martín, F.E., 1979. Algunos datos sobre la distribución ecológica de los hongos, principalmente los micorrízicos, en el centro del Estado de Nuevo León. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología*, 13, pp. 29-237.
- Chapra, S.C. y Canale, R.P., 2011. *Métodos Numéricos para Ingenieros*. México: [6<sup>o</sup> sexta edición.] Mc. Graw-Hill.
- Cifuentes, J., 2008. Hongos. Catálogo taxonómico de especies de México. En: S. Ocegueda y Llorente-Bousquets, J. Coords. *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. México. CONABIO. CD 1.
- Cifuentes, J. Villegas, M. y Pérez-Ramírez, L., 1986. Hongos. En: A. Lot y Chiang, F. Comp. *Manual de Herbario*. México. Consejo Nacional de la Flora de México. pp. 55-64.
- Cifuentes, J., et al., 1996. Diversity of Macromycetes in pine-oak forests in the neovolcanic axis, México. En: M.E. Palm y Chapela, I.H. ed. *Mycology in sustainable development: expanding concepts, vanishing borders*. Estados Unidos de América. Parkway Publishers, Inc. Boone, North Carolina. pp. 111-121.
- Cifuentes, J., Villarruel-Ordaz, J.L. y Vázquez-Estup, R.A., 2012. Riqueza

- de macromicetos micorrízicos en dos bosques de *Abies religiosa*. Memorias del VII Simposio Nacional y IV Reunión Iberoamericana de la Interacción Micorrízica. Xalapa, México.
- Colwell, R.K., 2011. *EstimateS, Version 8.2: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples (Software and User's Guide)*. Freeware for Windows and Mac OS.
- Disponible en:  
[http://priede.bf.lu.lv/ftp/pub/TIS/datu\\_analiize/EstimateS/EstimateSUsersG](http://priede.bf.lu.lv/ftp/pub/TIS/datu_analiize/EstimateS/EstimateSUsersG)
- Delgado, M. del R., 2004. *Los hongos ectomicorrízicos como herramienta para la recuperación de la cubierta forestal de ecosistemas perturbados*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental, Restauración Ecológica). México. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Frutis, I., Chio, R.E. y Estrada, A., 1985. Nuevos Registros de Macromicetos del Estado de México. *Revista Mexicana de Micología*, 1, pp. 285-300.
- Garay, S.E., 2013. *Hongos ectomicorrizógenos asociados a Fagus grandifolia var. mexicana en una población relicto del bosque de niebla en el volcán de Acatlán, Veracruz*. Tesis de Doctorado. México. Instituto de Ecología A.C. Xalapa.
- Glenn, L., 2006. *Ecuaciones Diferenciales. Un enfoque de modelado*. México. Mc. Graw-Hill.
- Gotelli, N.J. y Colwell, R.K., 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4, pp. 379-391.
- Guzmán, G., 1977. *Identificación de los hongos comestibles, venenosos, alucinantes y destructores de la madera*. México: Limusa.
- Guzmán, G., 1995. La diversidad de hongos en México. *Ciencias*, 39, pp. 52-57.
- Guzmán, G., 1998. Inventorying the fungi of Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 7, pp. 369-384.
- Guzmán, G., 2008. Análisis de los estudios de los Macromycetes de México. *Revista Mexicana de Micología*, 28, pp. 7-15.
- Guzmán, G., Bandala, V.M. y Montoya, L., 1997. An overview on the tropical fungi from Mexico. En: K.K. Janardhanan, *et al.*, ed. *Tropical*

- Mycology*. Enfield, New Hampshire: Science Publ.
- Hawksworth, D.L., 1991. The fungal dimension of the biodiversity: magnitude, significance, and conservation. *Mycological Research*, 95, pp. 641-655.
- Hawksworth, D.L., 2001. The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. *Mycological Research*, 105(12), pp. 1422-1432.
- Hernández, J.M., 1999. La evaluación y la conservación de la biodiversidad: perspectivas. *Cuadernos de Bioética*, 38, pp. 249-252.
- Index Fungorum. Disponible en: [www.indexfungorum.org](http://www.indexfungorum.org). [Consultado en marzo del 2015].
- Jiménez-Valverde, A. y Hortal, J., 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*, 8, pp. 151-161.
- Kirk, M. P., et al., 2008. *Dictionary of the Fungi*. (Décima edición). Gran Bretaña: CAB International. Wallingford. p. 771.
- Marmolejo, J. G., Castillo, J. y Guzmán, G., 1981. Descripción de especies de Teleforaceos poco conocidos en México. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología*, 15, pp. 9-66.
- Mendiola, G. y Guzmán, G., 1973. Las especies de *Tremella* conocidas en México. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología*, 7, pp. 89-97.
- Moreno, C.E., 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. Zaragoza: M&T–Manuales y Tesis SEA.
- Muller, G.M., et al., 2007. Global diversity and distribution of macrofungi. *Biodiversity Conservation*, 16, pp. 37-48.
- O'Dell, T.E., Lodge, D.J. y Muelle, G.M., 2004. Approaches to sampling macrofungi. En: G.M. Mueller, Bills, G.F. y Foster, M.S. eds. *Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring Methods*. Estados Unidos de América. Burlington. Elsevier Academic Press. pp. 128-172.
- Pérez-Silva, E., Herrera, T. y Esqueda-Valle, M., 1999. Species of *Geastrum* (Basidiomycotina: Geastraceae) from Mexico. *Revista Mexicana de Micología*, 15, pp. 89-104.
- Ramírez-López, I., Villegas-Ríos, M. y Cano-Santana, Z., 2012. Diversidad de Agaricomycetes clavarioides en la Estación de Biología



- de Chamela, Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, pp. 1084-1095.
- Reygadas, F., Zamora-Martínez, M. y Cifuentes, J., 1995. Conocimiento sobre los Hongos silvestres comestibles en las comunidades de Ajusco y Topilejo, D.F. *Revista Mexicana de Micología*, 11, pp. 85-108.
- Rossmann, A., 1994. A strategy for an all-taxa inventory of fungal biodiversity. En: C. I. Peng y C. H. Chou, eds. *Biodiversity and terrestrial ecosystems*. China. Academia Sinica. Monograph Series No. 14. Taipei. pp. 169-194.
- Sánchez-González, A., López-Mata, L. y Granados-Sánchez, D., 2005. Semejanza florística entre los bosques de *Abies religiosa* (H.B.K.) Cham. & Schltdl. de la Faja Volcánica Transmexicana. *Investigaciones Geográficas*, 56, pp. 62-76.
- Sierra, S. y Cifuentes, J., 1993. Contribución al estudio taxonómico de los hongos Tremeloides (Heterobasidiomycetes) de México. *Revista Mexicana de Micología*, 9, pp. 119-137.
- Soberón, J. y Llorente, J., 1993. The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. *Conservation Biology*, 7, pp. 480-488.
- Statsoft, 1998. *Statistica (data analysis software system and computer program manual)*. Versión 6. Estados Unidos de América. Statsoft, Inc., Tulsa.
- Valenzuela, R., Raymundo, T. y Palacios, M.R., 2004. Macromicetos que crecen sobre *Abies religiosa* en el eje neovolcánico transversal. *Polibotánica*, 18, pp. 33-51.
- Villarreal, H., et al., 2006. *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Villarruel-Ordaz, J.L. y Cifuentes, J., 2006. *Catálogo fotográfico de macromicetos del Suelo de Conservación Contrerense, Deleg. La Magdalena Contreras*. México: Herbario FCME, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Villarruel-Ordaz, J.L. y Cifuentes, J., 2007. Macromicetos de la cuenca del río Magdalena y zonas adyacentes, delegación Magdalena

- Contreras, México. *Revista Mexicana de Micología*, 25, pp. 59-68.
- Villarruel-Ordaz, J.L., Pérez-Ramírez, L. y Cifuentes, J., 1993. Nuevos registros del Género *Collybia* (Tricholomataceae) y descripción de especies poco estudiadas en México. *Revista Mexicana de Micología*, 9, pp. 139-164.
- Villarruel-Ordaz, J.L., Montañez, A. y Cifuentes, J., 2001. *Biodiversidad de macromicetos (Fungi) de la Región de la Sierra Chincua, Reserva Especial de La Biósfera Mariposa Monarca, Michoacán, México*. Memorias del XV Congreso Mexicano de Botánica. Querétaro. México.
- Zak, J. C. y Willig, M.R., 2004. Fungal biodiversity patterns. En: G.M., Mueller, Bills, G.F. y Foster, M.S., ed. *Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring Methods*. Burlington: Elsevier Academic Press. pp. 60-75.
- Zarco, J., 1986. Estudio de la distribución ecológica de los hongos (principalmente Macromicetos) en el Valle de México, basado en los especímenes depositados en el Herbario ENCB. *Revista Mexicana de Micología*, 2, pp. 41-72.
- 

<sup>1</sup> Instituto de Genética, Universidad del Mar, campus Puerto Escondido, Oaxaca.  
Correo electrónico autor responsable: \* [jlvo@zicatela.umar.mx](mailto:jlvo@zicatela.umar.mx)

<sup>2</sup> Herbario FCME (Hongos), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.

<sup>3</sup> Instituto de Industrias, Universidad del Mar, campus Puerto Escondido, Oaxaca.

## DIVERSIDAD DE CILIADOS (ALVEOLATA: CILIOPHORA) EN EL RÍO MAGDALENA

*Isabel de la Caridad Ymas González<sup>1</sup>, Alfonso Lugo Vázquez<sup>2\*</sup> y María del Rosario Sánchez Rodríguez<sup>2</sup>*

### Introducción

Los ríos son ecosistemas lóticos muy diversos, caracterizados por un flujo unidireccional y lineal de agua dentro de un canal cuyo sustrato y morfología tienden a ser inestables. La heterogeneidad espacial y temporal en estos sistemas es muy alta y la mayor parte de la materia orgánica que alimenta su metabolismo es de origen alóctono<sup>3</sup>. La distribución e interacciones de los organismos en los ríos es el resultado de la variación temporal y espacial de diversas condiciones ambientales y la biota de los ríos presenta adaptaciones para la existencia en las condiciones del agua que fluye (Wetzel, 2001).

Existe una gran diversidad de grupos de organismos que habitan en las aguas corrientes. En el nivel microscópico, los protistas son uno de los más importantes y, entre ellos, los ciliados son de gran relevancia. Como consumidores principales de bacterias, picoplancton y nanoplancton, actúan como un eslabón trófico fundamental (Biyu, 2000), y son además una fuente de alimento para otros protozoos, invertebrados y larvas de peces (Dopheide *et al.*, 2009). Estos organismos también desempeñan una función central en la remineralización y el reciclaje de nutrientes en los ambientes acuáticos (Mieczan, 2003; Senler y Yildiz, 2004; Mohsenpour *et al.*, 2010) y forman parte del circuito microbiano dentro de las aguas corrientes (Meyer, 1994).

La contaminación del agua puede causar perturbaciones notables en la abundancia y composición del ensamblaje<sup>4</sup> de ciliados, con lo cual se pueden alterar significativamente las cadenas tróficas acuáticas (Madoni y Braghiroli, 2007). Estos cambios son una herramienta confiable, muy utilizada para determinar los efectos biológicos de la contaminación acuática (Madoni, 2005). Entre los factores ambientales que más efecto tienen sobre los ciliados, se encuentran la cantidad de materia orgánica, la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, y la concentración de

oxígeno disuelto (Dias *et al.*, 2008). Entre estas variables, la cantidad de materia orgánica y la concentración de oxígeno disuelto en el agua definen zonas de contaminación que están asociadas con especies particulares de protozoos indicadores (Foissner y Berger, 1996).

Un problema fundamental y común a todos los organismos que habitan en las aguas corrientes es lograr mantenerse en un sitio y no ser arrastrados por el agua en movimiento. Los ciliados no escapan a esta condición, y la mayoría de las especies en las aguas corrientes se encuentran asociadas a sustratos tales como el sedimento, piedras y hojas de vegetales, algas filamentosas o biopelículas. La presencia de ciliados en el agua libre suele ser incidental y básicamente asociada a desprendimientos desde los sustratos (Fenchel, 1987). Por esta razón, es común que sean los sustratos presentes en los ríos los objetos más frecuentemente estudiados para conocer la biodiversidad de este grupo.

El objetivo de este trabajo fue realizar una evaluación de la diversidad de protozoos ciliados del río Magdalena, presente en la zona boscosa de “Los Dinamos” y en la zona inicial de su recorrido por la ciudad, así como llevar a cabo un análisis del impacto que tiene la influencia antrópica sobre los ensamblajes de las especies, a través del análisis de la riqueza, frecuencia y abundancia de las mismas, de la similitud en términos de especies que pueda existir entre las distintas estaciones de muestreo y del análisis de las condiciones físico-químicas presentes en el río. También se comparan los resultados y se actualiza la lista de especies de protozoos ciliados del río Magdalena publicada por Nomdedeu y López-Ochoterena (1988), único antecedente de este trabajo.

## **Método**

### ***Área de estudio***

Se seleccionaron 5 estaciones de muestreo situadas en el río Magdalena (Tabla 1). Las 4 primeras estaciones están localizadas en la zona de bosque conservado, dentro del área de “Los Dinamos” y la última pertenece a la parte del río que se adentra en la zona urbana. Los muestreos se realizaron en el año 2009 en los meses de abril, correspondiente a la época cálida-seca, y mayo y junio que son el inicio la época cálida-lluviosa. La colecta de protozoos ciliados en cada estación se realizó en frascos de plástico de 400 ml. En cada estación se tomaron dos muestras, cada una con diferente

sustrato: piedra y hojas de vegetales. Parte del material colectado se fijó inmediatamente con lugol acético al 1% para su posterior traslado al laboratorio.

**Tabla 1**

Tabla 1. Localización geográfica de las estaciones de muestreo en el río Magdalena, CDMX (elaboración propia).			
Estaciones	Coordenadas	Altitud (msmm)	Lugar
1	19° 15.992 N; 99° 17.693 W	3,173	Arriba del 4° Dínamo - Zona natural
2	19° 16.025N; 99° 17.607 W	2,943	En el 4° Dínamo - Zona natural
3	19° 17.084N; 99° 16.421 W	2,695	En el 2° Dínamo - Zona natural
4	19° 17.362N; 99° 15.896 W	2,687	En el 1er Dínamo - Zona natural
5	19° 18.695N; 99° 13.370 W	2,406	Avenida México - Zona urbana

En el campo se midieron la temperatura, la conductividad específica a 25°C (K25) y la concentración de oxígeno disuelto con una sonda multiparamétrica marca YSI (Yellow Spring Instruments Co., Cincinnati, EUA) Modelo 85 y el pH con un potenciómetro portátil (Conductronic Modelo PH10). Se tomaron muestras de agua de 1 litro, que fueron fijadas con ácido sulfúrico para su posterior traslado al laboratorio, donde se midió la demanda química de oxígeno (DQO) por el método de reflujó abierto con dicromato de potasio (APHA *et al.*, 1998).

La identificación de los protozoos ciliados se realizó *in vivo* y aplicando algunos colorantes para revelar estructuras de importancia taxonómica. Se utilizaron las obras de Kahl (1935), Foissner y Berger (1996) y Foissner *et al.* (1991; 1992; 1994; 1995) como base para la identificación. Para la correcta identificación de algunas especies se aplicó la técnica de impregnación argéntica por el método en seco del nitrato de plata de Klein (Foissner, 1992). La clasificación taxonómica siguió los criterios de Lynn y Small (2002). Los datos de la alimentación y la clasificación sapróbica de las especies encontradas fueron tomados de Foissner *et al.* (1991; 1992; 1994; 1995).

El recuento de protozoos ciliados en las muestras fijadas con lugol acético se realizó con una cámara de conteo de Segdewick Rafter (Finlay y Guhl, 1992) y un microscopio Zeiss Axiostar a un aumento de 100X. Para conocer el grado de semejanza entre las estaciones de muestreo se

utilizaron los datos de la presencia/ausencia de las especies mediante el cálculo del índice de similitud cualitativa de Jaccard, cuya fórmula es (Smith, 1996):

$$SC_j = C / A + B - C$$

donde:

- C = número de especies comunes
- A = número total de especies de la estación A
- B = número total de especies de la estación B

Con los datos de porcentaje de frecuencia de las especies en las muestras y el logaritmo de la abundancia de cada una, se construyó un diagrama bivariado de frecuencia contra abundancia, para establecer las especies dominantes, temporales, constantes y raras (García de León, 1988). Se utilizó el programa EstimateS (7.5 R. K. Colwell; <http://purl.oclc.org/estimates>) para la obtención de las curvas de acumulación de especies y así poder comparar la riqueza específica esperada con la obtenida en el área de muestreo y en cada sustrato. El objetivo de estos análisis fue conocer la eficiencia del muestreo en el conocimiento de la riqueza específica de la zona muestreada en el río, así como comparar el aporte de cada uno de los sustratos investigados a la riqueza específica total.

Usando los datos de presencia-ausencia de las especies en cada una de las estaciones de muestreo se comparó la similitud mediante el cálculo del Índice de Jaccard, con el objetivo de conocer la variación en la composición taxonómica de los ciliados a lo largo del tramo de río estudiado.

Para determinar la existencia de diferencias significativas en los valores de las variables físico-químicas entre las estaciones de muestreo, se realizaron análisis de varianza de un factor (Daniel, 2002). En los casos en que resultaron diferencias significativas, se utilizó una prueba post-hoc de Tukey. Previamente se aplicó un análisis exploratorio de datos de caja y bigote con el programa SPSS versión 18.0.

## **Resultados**

### ***Variables físico-químicas***

Al analizar las variables físico-químicas (Tabla 2), se observó una marcada diferencia entre los valores obtenidos en el tramo limpio del río (zona natural) y los obtenidos en el tramo contaminado (zona urbana). En los valores de temperatura y oxígeno disuelto se encontró una diferencia significativa únicamente en la estación 5, donde el valor promedio fue más alto para la temperatura ( $F=5.90$   $P<0.05$ ), y menor para el oxígeno ( $F=9.7$   $P<0.05$ ). En los valores de pH el análisis no mostró diferencias significativas ( $F=0.92$   $P>0.05$ ), mientras que, para la conductividad específica, un análisis de caja y bigote mostró diferencias entre todas las estaciones, en donde el mayor valor promedio se obtuvo en la estación 5. Los valores de temperatura en la zona natural fueron bajos, pero es conocido el hecho de la amplia tolerancia a la variación de la temperatura que presentan diversas especies de ciliados (Bick, 1972). El pH, en cambio, se obtuvo siempre en el intervalo óptimo de 6 a 8 unidades (Kudo, 1982).

**Tabla 2**

Tabla 2. Intervalos de las variables físico-químicas medidas en las zonas natural y urbana (elaboración propia).		
Variables físico-químicas	Zona natural (Estaciones 1 a la 4)	Zona urbana (Estación 5)
Temperatura (°C)	11-15.6	17.3-20.7
pH	6.9-7.49	6.78-7.37
Conductividad (K25) ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	61.9-96.5	558-595
Oxígeno disuelto ( $\text{mg l}^{-1}$ )	5.66-9.13	0-3.17

### ***Composición taxonómica***

Se registraron un total de 7 clases, 15 órdenes, 25 familias, 30 géneros y 42 especies de protozoos ciliados. La lista de especies, conjuntamente con algunos datos ecológicos de las mismas, se presenta en la tabla 3. Sólo dos especies, *Dexiostoma campylum* y *Glaucoma scintillans* (Fig. 1), aparecieron en todas las estaciones de muestreo, aunque no en todos los meses. Del total de especies, 14 se observaron en más de dos puntos de muestreo. En las primeras 4 estaciones se observó que las especies *Aspidisca cicada*, *Holosticha monilata*, *Holosticha pullaster* y *Tachysoma pellionellum* se presentaron casi exclusivamente en las muestras de piedra,

sin embargo, las especies *Colpidium colpoda*, *Dexiostoma campylum* y *Glaucoma scintillans* se presentaron exclusivamente asociadas a las hojas vegetales.



**Figura 1**  
**Tabla 3**

Tabla 3. Lista de especies encontradas en las estaciones de muestreo y datos de su alimentación (elaboración propia).

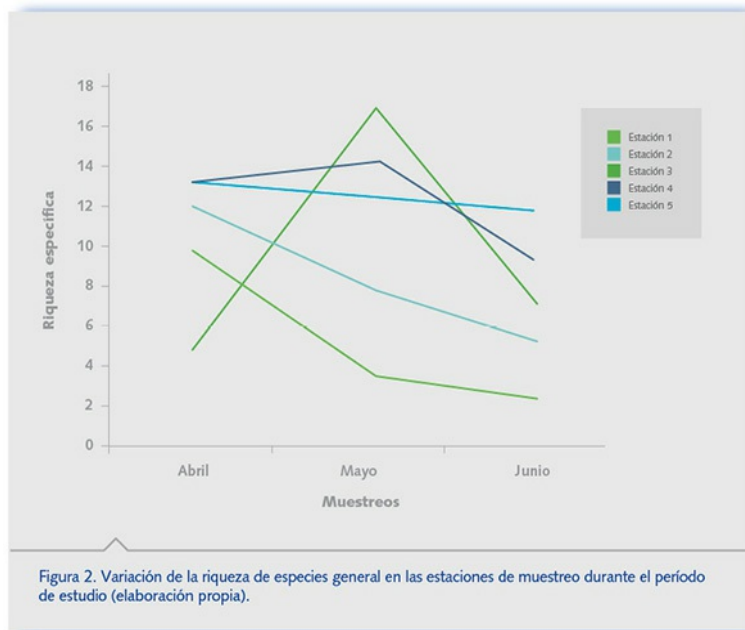
ESPECIES	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	ALIMENTACIÓN
<i>Amphileptus pleurosigma</i> Stokes, 1884 *			X	X		R
<i>Aspidisca cicada</i> Mueller, 1786	X	X	X	X		B
<i>Charchesium polypinum</i> Linnaeus, 1758				X	X	B
<i>Chilodonella uncinata</i> Ehrenberg, 1838		X	X	X		B
<i>Cinetochilum margaritaceum</i> Ehrenberg, 1831	X	X	X	X		B, AI
<i>Coleps hirtus</i> Mueller, 1786 *		X	X	X		O
<i>Colpidium colpoda</i> Losana, 1829	X	X	X	X		B
<i>Cyclidium glaucoma</i> Mueller, 1773	X			X		B
<i>Dexiostoma campylum</i> Stokes, 1886 *	X	X	X	X	X	B, AI, FI
<i>Frontonia acuminata</i> Ehrenberg, 1833 *		X	X	X		O
<i>Frontonia leucas</i> Ehrenberg, 1833 *		X		X		O
<i>Frontonia</i> sp. *					X	-
<i>Glaucoma scintillans</i> Ehrenberg, 1830	X	X	X	X	X	B
<i>Holodicha monilata</i> Kahl, 1928 *	X	X	X	X		B, AI, D



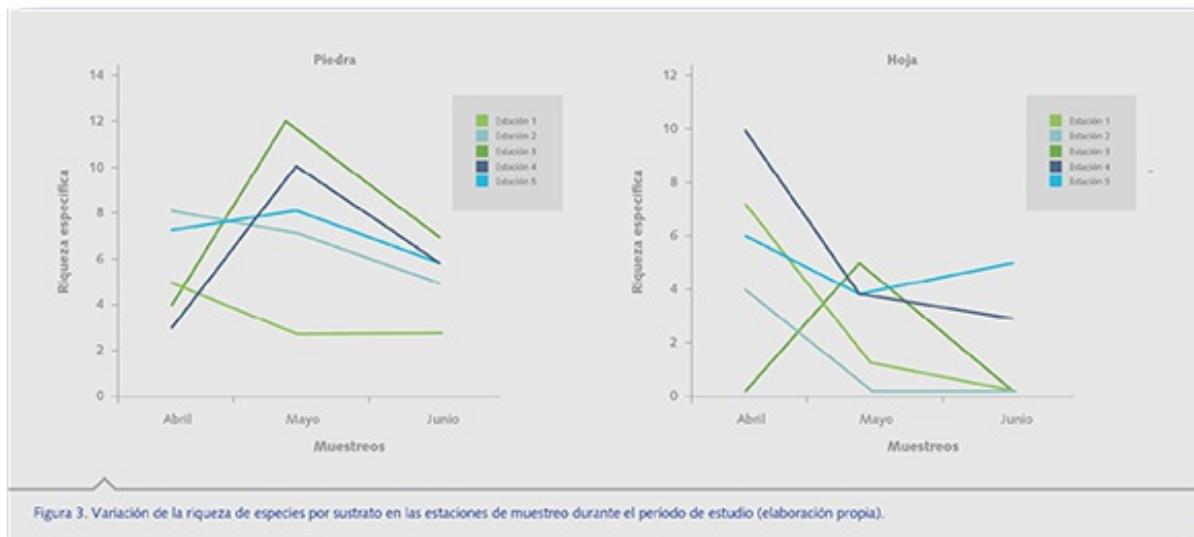
<i>Holosuca pustaster</i> Mueener, 1773 *	X	X	X			B, AI, D
<i>Lacrymaria olor</i> Mueller, 1786 *		X	X			R
<i>Lembadion lucens</i> Maskell, 1887 *			X			O
<i>Litonotus lamella</i> Mueller, 1773 *			X			R
<i>Litonotus varstviensis</i> Wrzesniowski, 1866 *	X	X			X	R
<i>Loxodes rostrum</i> Mueller, 1786 *				X		O
<i>Opercularia articulata</i> Goldfuss, 1820 *					X	B
<i>Opercularia microdiscum</i> Fauré-Fremiet, 1904 *				X		B
<i>Opercularia nutans</i> Ehrenberg, 1831 *					X	B
<i>Oxytricha</i> sp. *			X			-
<i>Oxytricha hymenostoma</i> Stokes, 1887 *		X				O
<i>Paramecium caudatum</i> Ehrenberg, 1833			X	X	X	B, AI
<i>Spirostomum ambiguum</i> Mueller, 1786 *				X		B, AI, FI
<i>Spirostomum teres</i> Claparède & Lachmann, 1858					X	B, AI, D, Sb
<i>Stentor polymorphus</i> Mueller, 1773 *	X			X		O
<i>Stylonychia mytilus</i> -complex		X		X		O
<i>Stylonychia pustulata</i> Mueller, 1786 *	X					O
<i>Tachysoma pelionellum</i> Mueller, 1773		X	X	X		B, AI, D, Cy
<i>Tetrahymena pyriformis</i> -complex				X	X	B
<i>Tokophryscarchesii</i> Claparède & Lachmann, 1859 *				X		R
<i>Trachelophyllum apiculatum</i> Perty, 1852 *				X		O
<i>Trithigmostoma</i> sp. *			X			-
<i>Uroleptus piscis</i> Mueller, 1773 *		X				B, D, Cy
<i>Uronema nigricans</i> Mueller, 1786 *					X	B, FI
<i>Vorticella campanula</i> Ehrenberg, 1831 *	X	X	X	X		B, AI
<i>Vorticella convallaria</i> -complex *	X				X	B
<i>Vorticella infusionum</i> -complex *					X	B
<i>Vorticella microstoma</i> -complex *					X	B, AI

A: Alimentación; AI: algas; B: bacterias; Cy: cianobacterias; D: diatomeas; FI: flagelados; O: omnívoro; R: depredador; Sb: bacterias del azufre. \*Nuevos registros para el río.

Como se puede observar en la tabla 3, las especies que se alimentan de bacterias son las que dominaron, aunque también se presentaron especies omnívoras y alguívoras. Las especies depredadoras fueron escasas. Las figuras 2 y 3 muestran la riqueza específica (S) obtenida para el río, teniendo en cuenta ambos sustratos (caso general), así como para cada uno de los mismos. En los casos en que se analizó la S general y la del sustrato hojas, se observó que a diferencia del resto, las estaciones 3 y 4 alcanzaron su máxima S en el mes de mayo, correspondiente al inicio teórico de la época de lluvia. Para el caso del sustrato piedra, sólo mantuvo este comportamiento la estación 3. Los menores valores de S para casi todas las estaciones en los tres casos analizados se obtuvieron en el mes de junio.

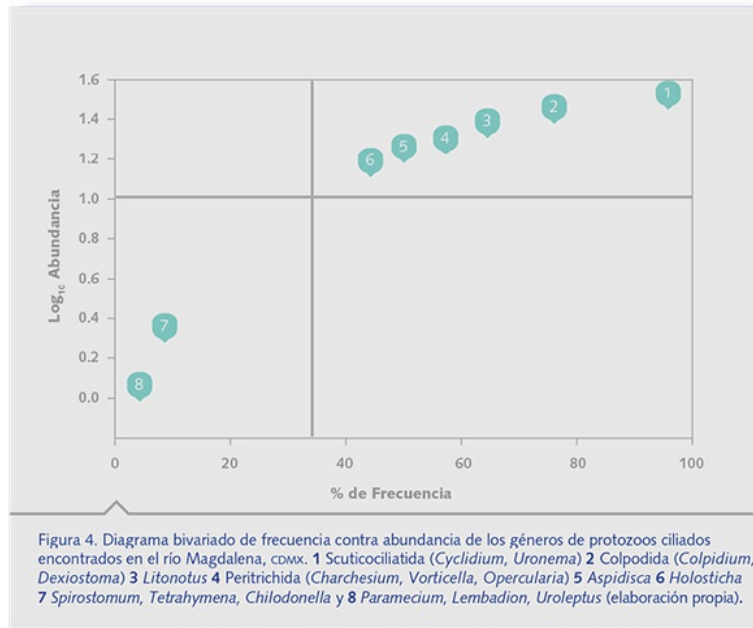


**Figura 2**



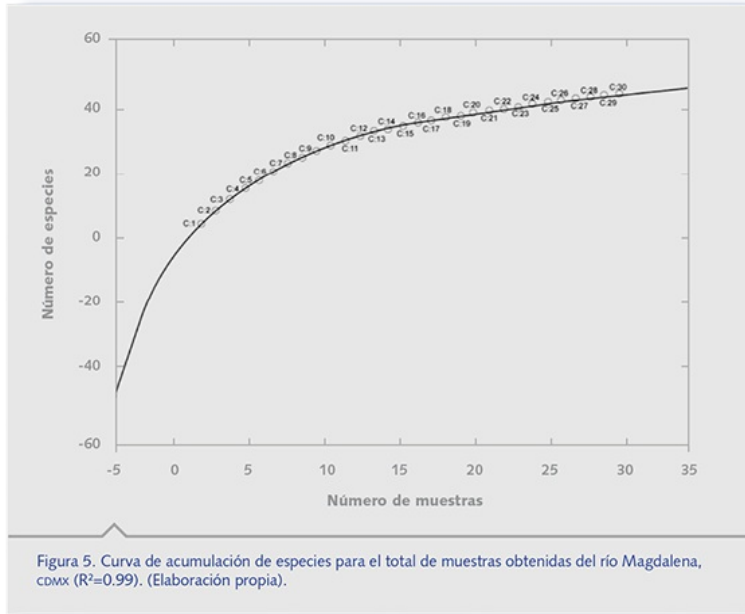
**Figura 3**

Solamente 17 de los 30 géneros registrados en las observaciones en vivo, pudieron ser cuantificados en las muestras fijadas con lugol acético. En la figura 4 se muestra *Spirostomum* como género raro, con muy bajos valores de frecuencia y abundancia; sin embargo, la especie *Spirostomum teres* fue observada en las muestras en vivo en la estación 5, en todos los meses del período de estudio y con una abundancia elevada.

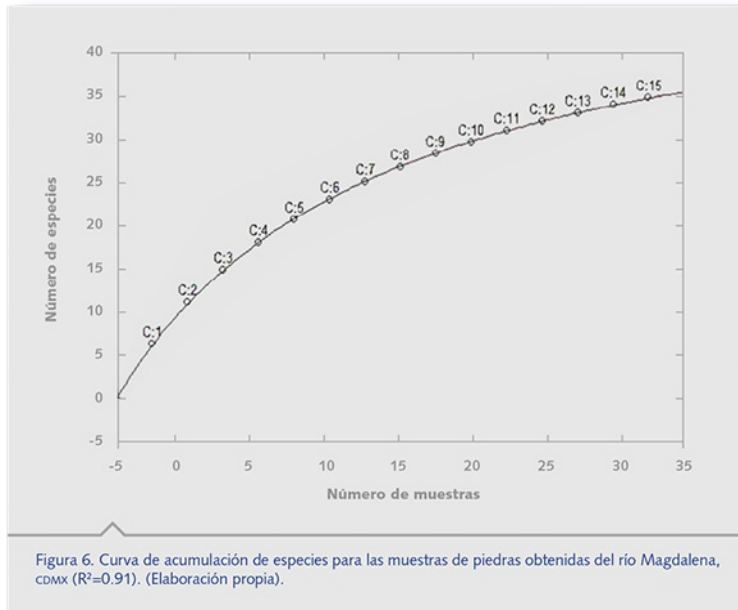


**Figura 4**

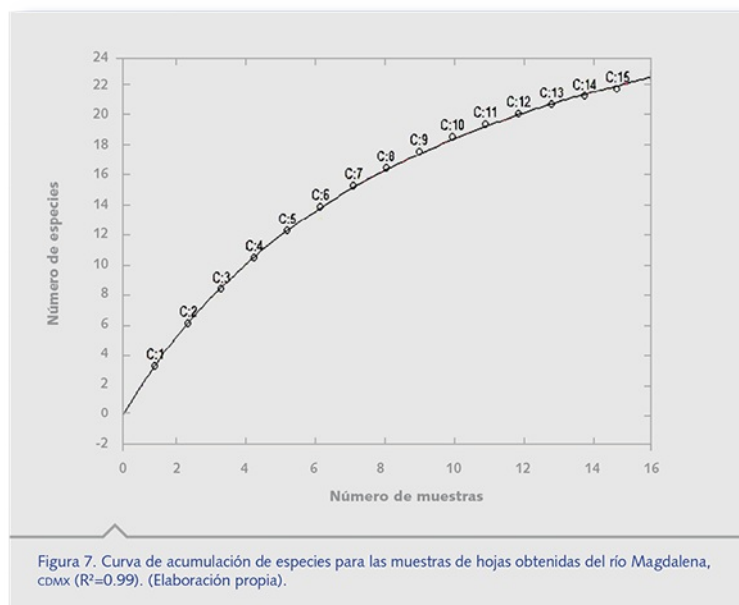
Las figuras 5, 6 y 7 muestran las curvas de acumulación de especies, en general y para cada sustrato. Las especies esperadas en el caso general son 59 y las observadas fueron 42, para el caso del sustrato piedra se esperaban 52 y se observaron 35, mientras que en las hojas se esperaban 36 y se observaron 22. El cálculo de la pendiente ( $m$ ) de las curvas, que muestra qué tan completos están o no los inventarios, arrojó los valores siguientes: para el caso general  $m=0.37$ , sustrato piedra  $m=0.78$  y sustrato hoja  $m=0.58$ . Según Jiménez-Valverde y Hortal (2003) valores de pendiente menores de 0.1 indican que el inventario está bastante completo, por lo que podemos decir que nuestros inventarios de especies requieren de un mayor esfuerzo de muestreo.



**Figura 5**



**Figura 6**



**Figura 7**

En la tabla 4 aparecen los valores del índice de similitud cualitativa de Jaccard entre las estaciones de muestreo. Los valores se encontraron entre 0.52 y 0.07 de similitud, siendo la mayor similitud para las estaciones 2 y 3. Las mayores diferencias se observaron al comparar la composición de especies de las primeras 4 estaciones con las de la estación 5 (valores de 0.07 a 0,18). Los mayores valores de similitud se encontraron entre las estaciones contiguas dentro de la zona natural, o sea, cuando se compararon la 1 con la 2, la 2 con la 3 y la 3 con la 4, con un intervalo de 0.52 a 0.29.

**Tabla 4**

Tabla 4. Matriz de similitud entre las estaciones de muestreo, según índice cualitativo de Jaccard (elaboración propia).

Estaciones	1	2	3	4	5
1	1	0.43	0.33	0.29	0.18
2	-	1	0.52	0.40	0.07
3	-	-	1	0.42	0.10
4	-	-	-	1	0.15
5	-	-	-	-	1

## Discusión

### *Variables físico-químicas*

La diferencia notable que existe entre la zona natural y la urbana se refleja principalmente en los valores de temperatura, conductividad y oxígeno disuelto. Para el caso de la temperatura, esta diferencia se debe, fundamentalmente, a la hora en que se tomaron las muestras, pues en la estación 5 se extrajeron por la tarde, cuando las temperaturas fueron mayores. Otro factor a considerar es la mayor altitud de las estaciones de la zona natural, lo cual también tiene un efecto que se expresa en temperaturas más bajas. Weiss (2006) resume diversos trabajos acerca del efecto de la temperatura sobre los ciliados y considera que la mayoría de las especies tienen amplios intervalos de tolerancia a esta variable. No es frecuente encontrar en la información sobre las especies de ciliados datos acerca de su preferencia por las aguas cálidas o las frías, lo cual confirma el punto de vista de su gran tolerancia respecto a esta variable.

Los valores de la conductividad y el oxígeno disuelto, están influenciados por las descargas de aguas residuales domésticas en la zona urbana, las cuales aportan sales y materia orgánica (Mara, 2004). En el estudio realizado por Nomdedeu y López-Ochoterena (1988), los resultados obtenidos en la zona natural del río coinciden en cuanto a los valores de oxígeno disuelto; sin embargo, los valores de temperatura y pH son menores.

Bojorge-García (2006) realizó un estudio de la calidad del agua en dos zonas del mismo río Magdalena: la zona natural y la urbana, cuyas estaciones de muestreo coinciden de manera general con las establecidas en el presente estudio. Los resultados obtenidos en ambos trabajos en la zona natural prácticamente no difieren, aunque los intervalos de variación de las condiciones en el estudio de Bojorge fueron más amplios que los del presente trabajo; esta variación podría explicarse por la mayor extensión temporal (mayo de 2002 a marzo de 2003) del primer trabajo, con respecto a éste. Esta diferencia de épocas y años también se reflejó en diferencias en las condiciones climatológicas en el área de estudio, causando variación de las variables físico-químicas en el río. En la zona urbana, estas condiciones también influyen, pero el factor determinante es la variación de las descargas de aguas residuales domésticas, que no están relacionadas con las condiciones climáticas. Las diferencias en los valores de las condiciones físico-químicas entre las estaciones de muestreo tienen una

estrecha relación con las diferencias en la composición de especies de las mismas.

### ***Composición taxonómica***

El número de especies registrado en este estudio fue mayor que el del trabajo de Nomdedeu y López-Ochoterena (1988), pues estos autores reportaron un total de 35 especies de ciliados. La composición de especies en los dos trabajos difiere notablemente, pues únicamente hay coincidencias en 12 especies, o sea, en menos del 50%. Esta falta de similitud se debe, en parte, a que no se muestreó exactamente en las mismas estaciones. En el estudio de Nomdedeu y López-Ochoterena (1988) tres estaciones de muestreo estaban situadas en zonas urbanas densamente pobladas y, por lo tanto, muy perturbadas, y sólo dos en la zona natural; por último, el empleo de distintas claves taxonómicas es otro factor que pudo haber influido en las diferencias de los resultados.

Al igual que ocurre en otros estudios (Madoni, 2005), el grupo trófico dominante resultó ser el de los bacterívoros, lo que indica la importancia de los ciliados en la función de control de las poblaciones de bacterias y en el flujo de energía hacia los niveles tróficos superiores (Meyer, 1994). Otros grupos tróficos importantes fueron los omnívoros y los alguívoros. La presencia de especies alguívoras ha sido considerada como indicadora de condiciones de baja contaminación (Dias *et al.*, 2008).

Los menores valores de S en el mes de junio para el caso general y de los sustratos, tienen su explicación en que, realmente, es en este mes cuando se incrementa la precipitación en la zona (García, 2004), lo que diluye las aguas del río, disminuyendo aún más las concentraciones de bacterias, que son el principal alimento de la mayoría de la especies identificadas, mientras que aumenta el gasto y la velocidad de la corriente, por lo que les resulta más difícil a los organismos mantenerse en un sitio determinado (Fenchel, 1987). El comportamiento anómalo de la estación 3 en el mes de mayo con respecto a las demás, puede deberse a la variación de las condiciones físico-químicas del lugar, dada por un aumento local de la descarga de materia orgánica, proveniente de las actividades recreativas que se realizan en sus proximidades.

De manera general, la mayor riqueza específica de las muestras del

sustrato piedra, con respecto a las de hojas, puede deberse a que este sustrato tiene una menor movilidad y permite el establecimiento de una biopelícula más estable sobre su superficie, donde los ciliados pueden establecerse con mayor facilidad. Las hojas son sustratos más efímeros y móviles, por lo que la permanencia de los ciliados en ellas puede ser más difícil (Fenchel, 1987). La hipótesis del disturbio intermedio nos permite explicar por qué los mayores valores de riqueza específica se obtuvieron en la estación 4, pues plantea que la diversidad será mayor en comunidades sujetas a niveles moderados de disturbios, que en las comunidades expuestas a mayores o menores disturbios (Connell, 1978; Ward y Stanford, 1983).

La abundancia de especies dominantes en el diagrama bivariado señala condiciones de baja perturbación en la mayoría de las estaciones del río. Pocas especies resultaron raras y algunas de ellas corresponden a las observadas en la estación de la zona urbana. Otras especies de ciliados no fueron observadas inicialmente en las muestras, sino que aparecieron en ellas al cabo de unos días (menos de una semana). Se considera que estas especies forman parte del ensamblaje del río, pero probablemente se encontraban en formas de resistencia. Al cambiar las condiciones en los frascos de las muestras en el laboratorio, estas especies pudieron proliferar exitosamente. Dias *et al.* (2008) reportaron especies en sus cultivos que no estaban presentes cuando se revisaron las muestras para la identificación de los ciliados.

Por otra parte, se ha referido en muchas ocasiones el efecto que tienen los fijadores sobre los ciliados, pues tienden a modificar la forma y el volumen de estos (Jerome *et al.*, 1993); sin embargo, existen especies que pueden ser destruidas por algunos fijadores (Pace y Orcutt, 1981). El lugol acético, que se utilizó en el presente estudio, al parecer tuvo este efecto sobre un buen número de especies de ciliados. Esta es la razón por la cual no se pudieron contar los individuos de todos los géneros identificados en vivo y de que, por ejemplo, *Spirostomum* resultara en las cuentas con baja densidad, a pesar de que se observaron muchos individuos de este género en las muestras en vivo. Por esta razón, el análisis de frecuencia contra abundancia debe tomarse con algunas reservas.

El hecho de que el número de especies observadas haya resultado



menor que el número esperado, según las curvas de acumulación, así como el hecho de que los valores de las pendientes de las mismas sean elevados ( $>0.1$ ), indican la necesidad de aumentar el esfuerzo de muestreo (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). Sin embargo, cuando se comparan los resultados del presente estudio con los obtenidos por otros autores, en otras regiones del mundo, no existe una diferencia muy marcada, si se tiene en cuenta, para la comparación, la cantidad de muestras tomadas y el número de estaciones de muestreo. Madoni (2005) encontró 175 especies en 36 muestras obtenidas de 13 estaciones de muestreo, situadas en 5 tributarios del Río Po en Italia, durante un período de muestreo que abarcó un año. Dias *et al.* (2008) en un arroyo municipal en Minas Gerais, Brasil, tomaron 33 muestras en tres estaciones y sólo encontraron 22 especies; estos autores estudiaron los ciliados en sustratos similares a los de este trabajo. Pauleto *et al.* (2009), en un río de planicie en Brasil, encontraron, en 72 muestras obtenidas de 12 estaciones, 61 especies de ciliados. En el presente estudio se registraron 42 especies, a partir de 30 muestras obtenidas de 5 estaciones de muestreo. En nuestro caso, el muestreo de sedimento del río podría aumentar el número de especies registradas. Existen algunos trabajos en ambientes acuáticos donde se han tomado muestras de sedimentos, obteniéndose un elevado número de especies de ciliados (más de 60) (Cleven, 2004; Chen *et al.*, 2008).

La similitud taxonómica entre las estaciones fue disminuyendo río abajo, es decir, que conforme el río avanzaba y se incorporaba a la zona urbana, hubo menos especies compartidas entre las estaciones y esto se hizo más claro al aumentar la distancia entre sitios. Como ya se mencionó, la estación 5 fue la menos parecida de todas. Un factor importante para esta diferencia es que la distancia que la separa de las otras cuatro estaciones es considerable. Pero el factor principal para explicar la diferencia es que se trata de un sitio donde el río es ya principalmente un desagüe de aguas negras.

Las diferencias de similitud que se observan entre las primeras 4 estaciones de muestreo y la última están dadas principalmente por las variaciones que existen entre las características físico-químicas en cada zona, las cuales se reflejan en el tipo de especies presentes. La concentración del oxígeno disuelto, asociada a la cantidad de materia

orgánica presente, parece ser uno de los factores principales. En cambio, aunque las diferencias encontradas en los valores de conductividad específica entre las primeras 4 estaciones tuvieron significación estadística su importancia biológica resulta dudosa, pues la variación observada no es suficiente como para mostrar un efecto sobre la composición de especies en las estaciones, lo que quedó demostrado con los valores mayores del índice de Jaccard obtenidos. En todos los casos se trata de agua con un bajo nivel de mineralización.

Finalmente, la diversidad de especies y los tipos tróficos de los ciliados señalan la importancia de este grupo dentro del control del crecimiento de las poblaciones bacterianas, dentro de las películas biológicas de los sustratos que se encuentran en el río. Los ciliados también pueden consumir otros microorganismos como microalgas, flagelados y otros ciliados. Lo anterior confirma su función como un eslabón fundamental en la red trófica del río.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen a la Coordinación de Posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México por las becas otorgadas a Isabel Ymas para poder realizar su estancia de investigación en México.

### **Referencias**

- APHA, AWWA y WEF, 1998. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. Nueva York: American Public Health Association.
- Bick, H., 1972. *Ciliated protozoa. An illustrated guide to the species used as biological indicators in freshwater biology*. Génova: World Health Organization.
- Biyu, S., 2000. A comparative study on planktonic ciliates in two shallow mesotrophic lakes (China): species composition, distribution and quantitative importance. *Hydrobiologia*, 427(1), pp. 143-153.
- Bojorge-García, M., 2006. *Indicadores biológicos de la calidad del agua en el Río Magdalena, México, D.F.* Tesis de Maestría. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chen, Q.H., *et al.*, 2008. Use of ciliates (Protozoa: Ciliophora) as bioindicator to assess sediment quality of two constructed mangrove

- sewage treatment belts in Southern China. *Marine Pollution Bulletin*, 57(6-12), pp. 689-694.
- Cleven, E.J., 2004. Seasonal and spatial distribution of ciliates in the sandy hyporheic zone of a lowland stream. *European Journal of Protistology*, 40(1), pp. 71-84.
- Connell, J.H., 1978. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science*, 199(4335), pp. 1302-1310.
- Daniel, W.W., 2002. *Bioestadística: Base para el Análisis de las Ciencias de la Salud*. México: Limusa-Wiley.
- Dias, R.J.P., Wieloch, A.H. y D'Agosto, M., 2008. The influence of environmental characteristics on the distribution of ciliates (Protozoa, Ciliophora) in an urban stream of southeast Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 68(2), pp. 287-295.
- Dopheide, A., *et al.*, 2009. Relative diversity and community structure of ciliates in stream biofilms according to molecular and microscopy methods. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(16), pp. 5261-5272.
- Fenchel, T., 1987. *Ecology of protozoa. The biology of free-living phagotrophic protists*. Berlín: Science Tech./Springer.
- Finlay, B.J. y Guhl, B.E., 1992. Plankton sampling-freshwater. En: J.J. Lee y Soldo, A.T., eds. *Protocols in Protozoology*. Lawrence, Kansas: Society of Protozoologists, Allen Press. B-1.1.-B-1.5.
- Foissner, W., 1992. The "dry" silver nitrate method. En: J.J. Lee y Soldo, A.T. eds. *Protocols in Protozoology*. Lawrence, Kansas: Society of Protozoologists. Allen Press. C-11.1-C-11-3.
- Foissner, W. y Berger, H., 1996. A user-friendly guide to the ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as bioindicators in rivers, lakes, and waste waters, with notes on their ecology. *Freshwater Biology*, 35(2), pp. 375-482.
- Foissner, W., *et al.*, 1991. Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobien-systems - Band I: Cyrtophorida, Ologotrichida, Hypotrichia, Colpodea. *Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft*, 1(91), pp. 1-478.
- Foissner, W., Berger, H. y Kohmann, F., 1992. Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobien-systems - Band II:

- Peritrichia, Heterotrichida, Odontostomatida. *Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft*, 5(92), pp. 1-502.
- Foissner, W., Berger, H. y Kohmann, F., 1994. Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems - Band III: Hymenostomata, Prostomatida, Nassulida. *Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft*, 1(94), pp. 1-548.
- Foissner, W., et al., 1995. Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems - Band IV: Gymnostomatea, Loxodes, Suctoria. – *Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft*, 1(95), pp.1-540.
- García, E., 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- García de León, A., 1988. *Generalidades del análisis de cúmulos y del análisis de componentes principales*. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Jerome, C.A., Montagnes, D.J.S. y Taylor, F.J.R., 1993. The effect of the quantitative protargol stain and Lugol's and Bouin's fixatives on cell size: a more accurate estimate of ciliate species biomass. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 40(3), pp 254-259.
- Jiménez-Valverde A. y Hortal, J., 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*, 8, pp. 151-161.
- Kahl, A., 1935. Urtiere oder Protozoa I: Wimpertiere oder Ciliata (Infusoria) 4. Peritricha und Chonotricha. *Tierwelt Deutschlands*, 30, pp. 651-886.
- Kudo, R. R., 1982. *Protozoología*. México: CECSA.
- Lynn, D.H. y Small, E.B., 2002. Phylum Ciliophora. En: J.J. Lee, Bradbury, P.C. y Leedale, G.F., eds. *An Illustrated Guide to the Protozoa*. Lawrence, Kansas: Society of Protistologists. pp. 371-656.
- Madoni, P., 2005. Ciliate assemblages and saprobic evaluation of water quality in the hilly zone of some tributaries of the Po River (northern Italy). *Hydrobiologia*, 541, pp. 55-69.
- Madoni, P. y Braghiroli, S., 2007. Changes in the ciliate assemblage along

- a fluvial system related to physical, chemical and geomorphologic characteristics. *European Journal of Protistology*, 43(2), pp. 67-75.
- Mara, D.D., 2004. *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. Reino Unido: Earthscan.
- Meyer, J.L., 1994. The microbial loop in flowing waters. *Microbial Ecology*, 28, pp. 195-199.
- Mieczan, T., 2003. Preliminary study on planktonic ciliates in slightly eutrophic lake Uściwierz. *Acta Agrophysica*, 1(3), pp. 479-484.
- Mohsenpour, A.A., *et al.*, 2010. Species Composition, Ecological Parameters and Seasonal Changes of Planktonic Ciliates Population in Bukan Dam Reservoir. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5(1), pp. 102-106.
- Nomdedeu, O.V. y López-Ochoterena, E., 1988. Protozoarios ciliados de México XXXII. Estudio ecológico de algunas especies para estimar el grado de contaminación del Río La Magdalena, México, D. F. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 15(1), pp. 229-236.
- Pace, M.L. y Orcutt, Jr. J.D., 1981. The relative importance of protozoans, rotifers, and crustaceans in a freshwater zooplankton community. *Limnology and Oceanography*, 26(5), pp. 822-830.
- Pauleto, G.M., *et al.*, 2009. Spatial and temporal patterns of ciliate species composition (Protozoa: Ciliophora) in the plankton of the Upper Paraná River floodplain. *Brazilian Journal of Biology*, 69(2), pp. 517-527.
- Şenler, N.G. y Yildiz, I., 2004. Faunistic and morphological studies on ciliates (Protozoa, Ciliophora) from a small pond, with responses of ciliate populations to changing environmental conditions. *Turkish Journal of Zoology*, 28(3), pp. 245-265.
- Smith, R.L., 1996. *Ecology and Field Biology*. Nueva York: Harper Collins College Publishers.
- Ward, J.V. y Stanford, J.A., 1983. The intermediate-disturbance hypothesis: an explanation for biotic diversity patterns in lotic ecosystems. En: T.D. Fontaine y Bartell, S.M., eds. *Dynamics of Lotic Ecosystems*. Michigan: Ann Arbor Science. pp. 347-356.
- Weiss, T., 2006. Freshwater ciliates as ecophysiological model organisms-

lessons from *Daphnia*, major achievements, and future perspectives. *Arch. Hydrobiol*, 167, pp. 371-402.

Wetzel, R.G., 2001. *Limnology. Lake and River Ecosystems*. San Diego, California: Academic Press.

---

<sup>1</sup> Facultad de Biología, Universidad de la Habana. Ciudad de la Habana, Cuba.

<sup>2</sup> Proyecto de Investigación en Limnología Tropical, UIICSE, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.

Correo electrónico autor responsable: \*[lugov@servidor.unam.mx](mailto:lugov@servidor.unam.mx)

<sup>3</sup> Materiales que se han incorporado desde el exterior del sistema.

<sup>4</sup> Conjunto de las poblaciones de ciliados que habitan en el cuerpo de agua.

## LAS MARIPOSAS DIURNAS EN EL SUELO DE CONSERVACIÓN CONTRERENSE DE LA MAGDALENA CONTRERAS

*Marysol Trujano Ortega*<sup>1\*</sup>, *Moisés Armando Luis Martínez*<sup>1</sup> y *José Nájera Carpio*<sup>1</sup>.

### Introducción

Los lepidópteros son el segundo grupo de insectos más diverso en el mundo, después de los coleópteros (Grimaldi y Engel, 2005). Se estima que existen alrededor de 200 000 especies en el mundo (CONABIO, 2006), de las cuales aproximadamente 75% están descritas. Particularmente, las mariposas diurnas (Rhopalocera) representan 13.5% de la fauna mundial (21 169 especies) (Shields, 1989; Heppner, 1991; Luis *et al.*, 2003; CONABIO, 2006). En México, está representado cerca de 10% de este grupo, repartido en las superfamilias Papilionoidea y Hesperioidea (Llorente *et al.*, 1996; Luis *et al.*, 2000; 2003; 2005). El presente estudio muestra sólo la fauna de Papilionoidea, ya que este grupo cuenta con una mayor tradición de estudio, que proviene desde finales del siglo XIX.

Los Papilionoidea se caracterizan por presentar una maza antenal recta, su cuerpo suele ser delgado en proporción a las alas y el acoplamiento de éstas se da por la sobreposición del ala anterior y posterior (Ehrlich y Erlich, 1961; Howe, 1975; De la Maza, 1987; Scoble, 1992). Se reconocen cinco familias; en México, la más rica es Nymphalidae, seguida de Lycaenidae, Riodinidae, Pieridae y Papilionidae (Luis *et al.*, 2003).

A nivel nacional se han registrado 423 taxones endémicos, de los cuales Nymphalidae contiene el mayor número, seguida de Pieridae y Papilionidae. En el caso de Lycaenidae y Riodinidae el número de endemismos no es preciso, debido a que son familias difíciles de recolectar porque su distribución se encuentra restringida a microhábitats específicos y sus hábitos son muy específicos. El nivel de endemismo está en función del conocimiento y definición de la distribución geográfica de los taxones (Luis *et al.*, 2003).

El estudio temprano de los lepidópteros mexicanos se concentró en las

zonas tropicales del país, y hasta la década de 1970 se iniciaron los trabajos faunísticos en las zonas montanas, en especial en la Faja Volcánica Transmexicana. Existen obras clásicas del siglo XIX y XX, así como trabajos recientes, en los que se registran localidades precisas en la cuenca de México (Godman y Salvin, 1878-1901; Hoffmann, 1940; 1941; Beutelspacher, 1980; Llorente, 1985; Rueda-Salazar y Cano-Santana, 2009). Para el caso particular del Suelo de Conservación Contrerense (SCC) en La Magdalena Contreras, Hoffmann (1940; 1941) se refiere a algunos registros como la ‘Cañada’; sin embargo, esta forma de nombrar a la localidad resulta poco específica, por lo que no se toma en cuenta este tipo de datos; Beutelspacher (1980) reportó cuatro especies para la Magdalena y la Cañada de los Dinamos y, finalmente, Luis y Llorente (1990) realizaron un estudio faunístico para la Cañada de los Dinamos, en el que reportan 65 especies de Papilionoidea y describen la distribución de las mariposas con respecto a la altitud, al tipo de vegetación y a la estacionalidad.

De acuerdo con estos trabajos, se reportan 193 especies para la cuenca de México (137 de Papilionoidea y 56 de Hesperioidea), que representan 8.5% de la fauna nacional. Trujano-Ortega y Luis-Martínez (2016), reconocen a partir de la literatura, 157 especies para la Ciudad de México (105 de Papilionoidea y 53 de Hesperioidea), que representan 82 % de la fauna que habita la cuenca de México.

El SCC resulta vital para la cuenca de México, debido a su enorme riqueza de especies en comparación con otras zonas; sin embargo, ha recibido poca atención desde un punto de vista biológico y son pocas las localidades estudiadas dentro del área. Es primordial estudiar la fauna de las montañas, ya que es la más amenazada debido al crecimiento de la ciudad; además, las montañas reúnen a especies con requerimientos ambientales restringidos y confinados a ellas.

De este modo, el presente estudio tiene como finalidad mostrar una síntesis del conocimiento que se tiene de las mariposas diurnas del SCC. Asimismo, se busca hacer referencia de los problemas que amenazan a la fauna de las mariposas diurnas.

## **Método**

Para documentar la riqueza específica de las mariposas en el SCC, se



tomaron los datos de la literatura (Beutelspacher, 1980; Luis y Llorente, 1990), de la megabase MARIPOSA (Luis *et al.*, 2005), la cual registra 4,926 ejemplares recolectados entre 1982 y 1983, así como datos recientes de trabajo de campo de los años 2006, 2008 y 2009. En conjunto, los registros de la Cañada de los Dinamos, el sur y suroeste de La Magdalena Contreras (S-SO de M.C.) y San Nicolás Totolapan (Totolapan), suman 488. Se utilizaron 5,414 ejemplares de seis localidades principales (núcleo), en un gradiente altitudinal que va de los 2 200 a los 3 500 msnm. La zona se caracteriza por una vegetación integrada, en su mayoría, por bosque de oyamel (*Abies religiosa*), seguido de bosque de pino (*Pinus hartwegii*), bosque de encino (*Quercus* sp.), bosque mixto y algunas áreas de pastizal inducido (Tabla 1) (Rzedowski, 1978).

**Tabla 1**

Tabla 1. Descripción de las localidades núcleo del Suelo de Conservación Contrerense, comx (elaboración propia).

LOCALIDAD NÚCLEO	ALTITUD (msnm)	VEGETACIÓN
Primer Dinamo	2 600	Bosque de <i>Quercus</i> , pastizal, bosque de galería, plantación forestal.
Segundo Dinamo	2 750 a 2 800	Bosque de <i>Quercus</i> , bosque mesófilo de montaña, bosque mixto, pastizal, asentamientos humanos.
Tercer Dinamo	2 900	Bosque mixto, <i>Abies religiosa</i> , <i>Abies</i> perturbado.
Cuarto Dinamo	3 100 a 3 300	Bosque de <i>Abies religiosa</i> .
S-SO de M.C.	3 500	Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> .
Totolapan	2 920	Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> perturbado por turismo.

## Resultados

De acuerdo con los datos obtenidos, se integró una lista con 72 especies de Papilionoidea agrupadas en 56 géneros y cinco familias para el Suelo de Conservación Contrerense (Anexo 1), que constituyen 69% de la fauna de Papilionoidea de la Ciudad de México y 53% de la cuenca de México para esta superfamilia (Tabla 2). La familia más diversa es Nymphalidae, seguida de Pieridae, Lycaenidae, Papilionidae y Riodinidae. Se encontraron siete registros nuevos para la zona; dos piéridos (*Phoebis agarithe agarithe* y *P. philea philea*), tres ninfálicos (*Dione junio huascuma*, *Dryas iulia moderata* y *Heliconius charithonia vazquezae*) y dos licénidos que, además de ser registros nuevos para la zona, lo son

también para la cuenca de México (*Calycopis isobeon* y *Theclopsis mycon*).

**Tabla 2**

Tabla 2. Riqueza de especies y número de endemismos de las familias de Papilionoidea en el Suelo de Conservación Contrerense (scc), cdmx. Se muestran los datos para el mundo, el país, cuenca de México y cdmx (elaboración propia).

FAMILIA	RIQUEZA					ENDEMISMOS		
	Mundo	México	Cuenca de México	cdmx	scc	México	cdmx	scc
Hesperiidae	4 100	800	56	53	-	185	11	-
Papilionidae	589	56	10	7	4	28	2	1
Pieridae	1 275	90	31	26	20	34	4	2
Nymphalidae	7 222	440	71	53	32	129	12	4
Lycaenidae	6 564	244	21	15	14	13	2	2
Riodinidae	1 419	255	4	3	2	34	-	-
<b>Total</b>	<b>21 169</b>	<b>1 885</b>	<b>193</b>	<b>157</b>	<b>72</b>	<b>423</b>	<b>31</b>	<b>9</b>

Beutelspacher (1980) reportó a *Cyllopsis pertepida pertepida* (Dyar, 1912) para la localidad de Contreras; sin embargo, parece ser una determinación errónea o un error geográfico, por lo que no se incluyó en la lista de especies del SCC. De acuerdo con la categoría de residencia aplicada por Luis y Llorente (1990), con base en diferentes criterios tales como el número de ejemplares, la distribución de las especies y la afinidad de éstas con el tipo de vegetación de la zona (Anexo 1), se registraron 39 especies residentes en el área que representan el 54%; mientras que en el 46% restante, se incluyen aquéllas especies que son migratorias (17 especies, 24%) y las no residentes (16 especies, 22%). Con base en el trabajo de campo reciente, se registraron 33 de las 39 especies residentes reportadas por Luis y Llorente (1990) al inicio de la década de 1980, es decir, 85% de la fauna de Papilionoidea local de La Magdalena Contreras. Las especies residentes registradas hace 30 años que no se encontraron a la fecha son: *Zizula cyna*, *Cyllopsis henshawi hoffmanni*, *Gyrocheilus patrobas patrobas*, *Phyciodes mylitta thebais* y *Vanessa atalanta rubria*.

En este trabajo, se reportan nueve taxones endémicos a México: cinco que se distribuyen en el país (*Catasticta nimbice nimbice*, *Erora quaderna*, *Gyrocheilus patrobas patrobas*, *Paramacera xicaque xicaque* y *Chlosyne ehrenbergii*) y cuatro que están restringidos a la zona montañosa de la Faja Volcánica Transmexicana (*Pterourus garamas garamas*, *Catasticta teutila*

*teutila*, *Strymon cestri* y *Polygonia haroldii*) (Anexo 1). El SCC presentó 45% de los taxones de Papilionoidea endémicos al D.F. y 4% de la fauna endémica de Papilionoidea de México (Tabla 2). La familia Nymphalidae presentó el mayor número de taxones endémicos.

## Anexo 1

Anexo 1. Lista de especies endémicas y residentes de Papilionoidea del Suelo de Conservación Contrerense, COMX (arreglo taxonómico de acuerdo a Llorente *et al.*, 2006).

TAXON	Contreras o Dínamos Beutelspacher (1980)	Cañada de los Dínamos Luis y Llorente (1990)	Base Mariposa (Magdalena Contreras) Luis <i>et al.</i> 2005	Suelo de Conservación Contrerense (2006)	Suelo de Conservación COMX (Magdalena Contreras) 2008-2009	Endémicas	Condición de residencia
<b>PAPILIONIDAE</b>							
<i>Battus philenor philenor</i> (Linnaeus, 1771)		*	*	*	*		M
<i>Papilio polyxenes asterius</i> (Stoll, 1782)		*	*	*			R
<i>Pterourus garamas garamas</i> (Geyer, 1829)		*	*			E2	NR
<i>Pterourus multicaudata multicaudata</i> (W.F.Kirby, 1884)		*	*	*			R
<b>PIERIDAE</b>							
<i>Abaeis nicippe</i> (Cramer, 1779)		*	*	*			R
<i>Anteos clorinde</i> (Godart, 1824)		*	*	*			M
<i>Anteos maerula</i> (Fabricius, 1775)		*	*	*			M
<i>Aphrissa statira statira</i> (Cramer, 1777)		*	*	*			M
<i>Colias eurytheme</i> (Boisduval, 1852)		*	*	*			R
<i>Eurema daira eugenia</i> (Wallengren, 1860)		*	*	*	*		R
<i>Eurema mexicana mexicana</i> (Boisduval, 1836)		*	*	*	*		R
<i>Eurema salome jamapa</i> (Reakirt, 1866)		*	*	*	*		R
<i>Nathalis iole</i> (Boisduval, 1836)		*	*	*	*		R
<i>Phoebis argante</i> (Fabricius, 1775)		*	*	*			M
<i>Phoebis agarithe agarithe</i> (Boisduval, 1836)		*	*	*	*		NR
<i>Phoebis philea philea</i> (Linnaeus, 1763)		*	*	*	*		NR
<i>Phoebis sennae marcellina</i> (Cramer, 1777)		*	*	*	*		M
<i>Pyrisitia proterpia</i> (Fabricius, 1775)		*	*	*	*		R
<i>Zerene cesonia cesonia</i> (Stoll, 1790)		*	*	*	*		R
<i>Catasticta nimbece nimbece</i> (Boisduval, 1836)		*	*	*	*	E1	R
<i>Catasticta teutila teutila</i> (Doubleday, 1847)		*	*	*	*	E2	R
<i>Glutophrissa drusilla tenuis</i> (Lamas, 1981)		*	*	*	*		M
<i>Leptophobia aripa elodia</i> (Boisduval, 1836)		*	*	*	*		R
<i>Pontia protodice</i> (Boisduval y Leconte, 1830)		*	*	*	*		R
<b>LYCAENIDAE</b>							
<i>Callophrys xami</i> (Reakirt, 1867)		*	*	*			NR
<i>Calycopis isobeon</i> (Butler & H. Druce, 1872)		*	*	*	*		NR
<i>Eroria quaderna</i> (Hewitson, 1868)		*	*	*	*	E1	R
<i>Micandra cyda</i> (Godman y Salvin, 1887)	*	*	*	*	*		R
<i>Ministrymon azia</i> (Hewitson, 1873)		*	*	*	*		NR
<i>Strymon cestri</i> (Reakirt, 1867)		*	*	*	*	E2	NR
<i>Theclipsis mycon</i> (Godman & Salvin, 1887)		*	*	*	*		NR
<i>Ignata gadira</i> (Hewitson, 1867)		*	*	*	*		NR
<i>Aricia acmon</i> (Westwood, 1851)		*	*	*	*		R
<i>Celastrina argiolus gozora</i> (Boisduval, 1870)		*	*	*	*		R
<i>Cupido comyntas</i> (Godart, 1824)		*	*	*	*		NR
<i>Echinargus isola</i> (Reakirt, 1867)		*	*	*	*		R
<i>Leptotes marina</i> (Reakirt, 1868)		*	*	*	*		R
<i>Zizula cyna</i> (W.H.Edwards, 1881)		*	*	*	*		R
<b>RIODINIDAE</b>							
<i>Calephelis perditalis perditalis</i> (W. Barnes & McDunno-ugh, 1918)		*	*	*	*		R
<i>Emesis zela cleis</i> (W.H. Edwards, 1882)		*	*	*	*		R
<b>NYMPHALIDAE</b>							
<i>Libytheana carinenta mexicana</i> (Michener, 1943)		*	*	*	*		M
<i>Anelia thirza thirza</i> (Geyer, 1833)	*	*	*	*	*		R
<i>Danaus gilippus thersippus</i> (H.W.Bates, 1863)		*	*	*	*		M
<i>Danaus plexippus plexippus</i> (Linnaeus, 1758)		*	*	*	*		R
<i>Cyllopsis hershawi hoffmanni</i> (L.D.Miller, 1974)		*	*	*	*		R
<i>Gyrocheilus patrobas patrobas</i> (Hewitson, 1862)		*	*	*	*	E1	R
<i>Paramacera xicaque xicaque</i> (Reakirt, 1867)	*	*	*	*	*	E1	R
<i>Anaea troglodyta aidea</i> (Guénin-Méneville, 1844)		*	*	*	*		M
<i>Adelpha eulalia</i> (E. Doubleday, 1848)		*	*	*	*		R
<i>Marpesia petreus</i> (Cramer, 1776)		*	*	*	*		M
<i>Anthanassa texana texana</i> (W.H.Edwards, 1863)		*	*	*	*		M
<i>Chlosyne cymeas cymeas</i> (Godman y Salvin, 1878)		*	*	*	*		R
<i>Chlosyne ehrenbergii</i> (Geyer, 1833)		*	*	*	*	E1	M
<i>Junonia coenia</i> (Hübner, 1822)		*	*	*	*		R
<i>Nymphalis antiopa antiopa</i> (Linnaeus, 1758)		*	*	*	*		R
<i>Phyciodes graphica vesta</i> (W. H. Edwards, 1869)		*	*	*	*		NR
<i>Phyciodes mylitta thebais</i> (Godman y Salvin, 1878)		*	*	*	*		R
<i>Polygona haroldii</i> (Dewitz, 1877)		*	*	*	*	E2	R
<i>Siproeta epaphus epaphus</i> (Latreille, 1813)		*	*	*	*		M
<i>Smyrna blomfieldia datis</i> (Fruhstorfer, 1908)		*	*	*	*		M
<i>Vanessa annabella</i> (Field, 1971)		*	*	*	*		R
<i>Vanessa atalanta rubria</i> (Fruhstorfer, 1909)		*	*	*	*		R
<i>Vanessa cardui</i> (Linnaeus, 1758)		*	*	*	*		M
<i>Vanessa virginiensis</i> (Drury, 1773)		*	*	*	*		R
<i>Agraulis vanillae incarnata</i> (Riley, 1926)		*	*	*	*		NR
<i>Dione juno huascuma</i> (Reakirt, 1866)		*	*	*	*		NR
<i>Dione monetaria poeyii</i> (Butler, 1873)		*	*	*	*		R
<i>Dryas iulia moderata</i> (Riley, 1926)		*	*	*	*		NR
<i>Eueides isabella nigricornis</i> (R.G. Maza, 1982)		*	*	*	*		NR
<i>Euptoieta claudia daunius</i> (Herbst, 1798)		*	*	*	*		R
<i>Euptoieta hegesia meridiana</i> (Stichel, 1938)		*	*	*	*		M
<i>Heliconius charithonia vazquezae</i> (W.P.Comstock y F.M.Brown, 1950)		*	*	*	*		NR

– Taxones que son registros nuevos para el SCC; --, Taxones nuevos para la zona y el Valle de México. Endémico a: E1, México; E2, Faja Volcánica Transmexicana. Residencia: R, residente; M, migratoria y NR, no residente.

De acuerdo con los datos de las localidades núcleo, el Primer Dinamo mostró la mayor riqueza de especies y registros (56 taxones y 4 310 individuos), seguida del Segundo Dinamo, con 50 especies. Sin embargo, el número de individuos se redujo notablemente (918). En el caso del Tercer y Cuarto Dinamo se observó que la riqueza de especies disminuyó en más de 50% respecto a la registrada para el primero, debido principalmente a que los lepidópteros son organismos heliotérmicos. Para el sur y suroeste de La Magdalena Contreras, se registraron sólo ocho taxones con 122 individuos, mientras que en la localidad de Totolapan, ubicada a 2 920 m de altitud y con vegetación predominante de pino, sólo se registró un individuo de *Paramacera xicaque xicaque*, debido a que el clima en ese sitio no favoreció el vuelo de las mariposas en los días en que se recolectó (Tabla 3).

**Tabla 3**

Tabla 3. Riqueza y abundancia de Papilionoidea del Suelo de Conservación Contrerense, CDMX (elaboración propia).		
Localidad núcleo	Especies / subespecies	Individuos
Primer Dinamo	56	4 310
Segundo Dinamo	50	918
Tercer Dinamo	21	53
Cuarto Dinamo	19	116
S-SO de M.C.	8	122
Totolapan	1	1

El mayor número de especies se concentró en el ecotono del bosque de encino (*Quercus*) y el bosque mixto, en las localidades ubicadas entre los 2 600 y 2 800 msnm. Conforme se incrementó la altitud, el número de especies decreció, de tal forma que la riqueza en el bosque de oyamel (*Abies religiosa*) fue baja, al igual que la abundancia, ya que las condiciones meteorológicas tienden a ser extremas para los requerimientos de las mariposas; sin embargo, las especies que se distribuyeron aquí son en su mayoría residentes. En las zonas más altas (3 500 msnm), donde se encuentra el bosque de *Pinus hartwegii*, se encontró un número reducido de taxones frecuentes y residentes en La Magdalena Contreras, como *Vanessa annabella*, *Zerene cesonia*, *Colias eurytheme*, *Dione moneta poeyii* y *Nathalis iole*, así como *Polygonia haroldii*, que es escasa pero

residente. Además de otras especies como *Battus philenor* y *Phoebis p. philea*, que son escasas y migratorias o no residentes (Tablas 1 y 3). En general, las especies migratorias o no residentes fueron menos abundantes.

## Discusión

La fauna de mariposas que habita en el SCC se compone de 72 especies, de las cuales el 54% se considera fauna residente y 46% fauna migratoria o no residente, lo que significa que se trata de especies que utilizan al SCC como zona de paso en sus movimientos migratorios, o bien, que se registraron allí por alguna de las siguientes razones, de acuerdo con Luis y Llorente (1990): a) la contaminación biológica; es decir, la introducción de plantas de alimentación larval, que suelen utilizarse como ornato y que llevan larvas o pupas de especies foráneas; o bien, b) por movimientos ascendentes de ejemplares que provienen de zonas más bajas de la cuenca de México, ya sea por la vagilidad propia de la especie o ayudados por la dispersión de los vientos. Sin embargo, en los últimos años, los autores han observado la colonización de especies fuera de su distribución conocida, debido probablemente a los efectos directos del calentamiento que está sufriendo la cuenca de México.

De acuerdo con los datos de Luis y Llorente (1990) y los del presente estudio, se observa que el número de especies residentes no aumentó después de 30 años, sino que disminuyó *v. gr.* *Zizula cyna*, *Cyllopsis henshawi hoffmanni*, *Gyrocheilus patrobas patrobas*, *Phyciodes mylitta thebais* y *Vanessa atalanta rubria*. Esta situación contrasta con la observada para las especies no residentes o migratorias que sí se incrementaron, debido a la introducción de estadios inmaduros de lepidópteros asociados a plantas ajenas a la vegetación nativa (*Phoebis p. philea* y *P. a. agarithe*), colonización de áreas nuevas (*Heraclides rogeri pharnaces*), migración periódica en las partes bajas de la cuenca de México, que ocasionalmente asciende a las montañas (*Smyrna blomfieldia datis*). En el caso de *Heraclides rogeri pharnaces* y *Smyrna blomfieldia datis*, son datos que no incrementan la lista de registros nuevos, ya que es necesario hacer un seguimiento para determinar si son observaciones ocasionales, movimientos permanentes o bien cíclicos.

*Dione juno huascuma*, *Dryas iula moderata* y *Heliconius charitonia vazquezae* (Nymphalidae: Heliconiinae) se alimentan de plantas de la

familia Passifloraceae (*Passiflora* sp.); mientras que *Phoebis philea philea* y *P. agarithe agarithe* (Pieridae: Coliadinae) se alimentan de plantas de la familia Leguminosae, principalmente especies del género *Senna*, que se introduce en los jardines por ser muy vistosas, lo que promueve la ampliación del área de distribución de estas especies de mariposas. *Calycopis isobea* y *Theclopsis mycon* (Lycaenidae: Lycaeninae), constituyen registros nuevos para la cuenca de México; sin embargo, se tomaron como especies no residentes que se registraron en el bosque de encino, es decir, para el estrato altitudinal más bajo donde existen zonas de cultivo y asentamientos humanos. De tal forma, para estos casos es necesario continuar las recolectas y determinar si existen las especies de plantas de las que se alimentan cuando son orugas, además de advertir si existen o no poblaciones establecidas.

Varias especies que se reportaron hace 30 años y se consideraban residentes para la zona no fueron recolectadas en el presente estudio. Algunas de ellas con microhábitats o estratos altitudinales específicos (*Gyrocheilus patrobas patrobas*), además de presentar densidades poblacionales bajas (*Phyciodes mylitta thebais*), por lo que el esfuerzo de muestreo mayor debe enfocarse hacia la búsqueda de condiciones ecológicas ligadas a las necesidades de estas poblaciones. Tal es el caso de *Zizula cyna*, la cual suele encontrarse cerca de flores pequeñas muy cerca del suelo; por su parte, *Phyciodes mylitta thebais* presenta una distribución muy localizada y estacional. *Vanessa atalanta rubria* es una especie que, a pesar de tener una distribución geográfica muy amplia en todo el país, se caracteriza por presentar densidades poblacionales muy bajas. *Calephelis perditalis perditalis* y *Gyrocheilus patrobas patrobas* son especies de vagilidad limitada, que se registraron en las partes bajas de la cañada. Cabe mencionar que el trabajo de campo de los últimos años fue llevado a cabo en su mayoría en las partes altas, por lo que no se tiene este tipo de registros. *Anethia thirza thirza* es un danaido ligado a condiciones de bosques húmedos de mediana y alta montaña, esta vegetación es sumamente susceptible a la perturbación y a la contaminación, y actualmente ha sido invadida por viviendas y cultivos. Luis y Llorente (1990) encontraron dos ejemplares en el bosque mixto del Primer Dinamo. En 2006, se registraron dos posibles avistamientos; sin embargo, esto no es

evidencia de la permanencia de esta especie en el SCC, es necesario buscarla nuevamente para definir si está o no extinta localmente.

Por otro lado, *Cyllopsis henshawi hoffmanni* es un satirino que hace treinta años era frecuente en el SCC y que en las recolectas llevadas a cabo en 2006, 2008 y 2009 no se registró, aun cuando el muestreo se hizo en los lugares donde se había reportado. En general, resulta apremiante llevar a cabo estudios sobre la dinámica poblacional de las mariposas residentes del SCC, ya que se observa una tendencia hacia la reducción de su presencia.

Los bosques y cañadas que se encuentran en el SCC incluyen las áreas mejor conservadas de los bosques de coníferas de la Ciudad de México, sin embargo, el muestreo de la zona fue heterogéneo, ya que son pocas las localidades núcleo a partir de las cuales se registran los taxones y se concentran cerca de los manantiales de la Cañada de los Dinamos, que actualmente presenta áreas perturbadas debido al turismo. Es necesario realizar más estudios en las partes altas de La Magdalena Contreras, que se ubican en el sur de la entidad, donde se encuentra el bosque de pino y oyamel, así como muestrear la parte oriente que colinda con los bosques de coníferas de Tlalpan e incluir dentro de los inventarios a la otra superfamilia poco estudiada de mariposas diurnas (Hesperioidea), pues seguramente surgirá información nueva acerca de la composición de la fauna de mariposas diurnas en el SCC.

De acuerdo con los resultados observados, se hace evidente la necesidad de establecer un plan regional de administración de la riqueza de la lepidopterofauna. Para ello, resulta de gran importancia la protección y preservación de las áreas más conservadas que albergan las mejores condiciones para el desarrollo de las poblaciones de mariposas, donde la estrategia sería la conservación de los ambientes particulares de la zona, como es el bosque mixto, que ahora sufre una fuerte presión antrópica, así como el estudio de las poblaciones de las especies residentes, sobre todo de aquéllas para las que se reportan densidades poblacionales bajas.

### **Agradecimientos**

A todos los curadores que nos permitieron el acceso a las colecciones con las cuales se elaboró la base de datos 'MARIPOSA'; a los proyectos PAPIIT IN 203509, CONACyT 83237; a la delegación La Magdalena



Contreras y la gente que habita el lugar; a la Asociación Estatal de Silvicultores del Distrito Federal; MTO agradece a la beca de Posgrado CONACyT y a Omar Ávalos, Blanca Hernández y Adriana Corach por su ayuda en el trabajo de campo.

## Referencias

- Beutelspacher, C.R., 1980. *Mariposas diurnas del Valle de México*. México: Ediciones Científicas La Prensa Médica Mexicana.
- CONABIO., 2006. *Capital natural y bienestar social*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- De la Maza, R.R., 1987. *Mariposas Mexicanas*. México: Fondo de Cultura Económica. p. 302.
- Ehrlich, P.R. y Ehrlich, A.H., 1961. *How to know the butterflies*. Dubuque, Iowa: W. M. C. Brown Company Publishers.
- Godman, F.D. y Salvin, I.O., 1878-1901. *Biología Centrali Americana. Zoología*, Taylor & Francis. Dulach, Londres. *Insecta, Lepidoptera, Rhopalocera*, 2, pp. 1-782.
- Grimaldi, D. y Engel, M.S., 2005. *Evolution of the insects*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Heppner, J.B., 1991. Faunal regions and the diversity of Lepidoptera. *Tropical Lepidoptera*, 2(1), pp. 1-85.
- Hoffmann, C.C., 1940. Catálogo sistemático y zoogeográfico de los lepidópteros mexicanos. Primera parte. Papilionoidea. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 11(2), pp. 639-739.
- Hoffmann, C.C., 1941. Catálogo sistemático y zoogeográfico de los lepidópteros mexicanos. Segunda parte. Hesperioidea. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 12(1), pp. 237-294.
- Howe, W.H., 1975. *The Butterflies of North America*. Nueva York: Doubleday & Company Inc. xiii.
- Llorente, J., 1985. La vida silvestre en el Valle de México (Mariposas). En: J.R. Álvarez, ed. *Imagen de la Gran Capital. México*. Enciclopedia de México. pp. 23-28.
- Llorente, J., et al., 1996. Papilionoidea (Lepidoptera). En: J. Llorente-Bousquets, García, A.N.A. y González, E.S., eds. *Biodiversidad*,

- Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una Síntesis de su conocimiento*. México: Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 531-548.
- Luis, A.M. y Llorente, J., 1990. Mariposas en el Valle de México: Introducción e historia. 1. Distribución local y estacional de los Papilionoidea de la Cañada de los Dínamos, Magdalena Contreras, D.F., México. *Folia Entomológica Mexicana*, 78, pp. 95-198.
- Luis, A.M., et al., 2000. Síntesis preliminar del conocimiento de los Papilionoidea (Lepidoptera: Insecta) de México. En: F.J. Marin-Piera, Morrone, J. y Melic, A., eds. *Hacia un proyecto CYTED para el inventario y estimación de la diversidad entomológica en Iberoamérica: PRIBES 2000*. Zaragoza: Monografías Tercer Milenio, Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA). pp. 275-285.
- Luis, A. M., et al., 2003. Biodiversity and Biogeography of Mexican Butterflies (Lepidoptera: Papilionidea y Hesperioidea). *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 105(1), pp. 209-224.
- Luis, M. A., Llorente, J. y Vargas, I., 2005. Una megabase de datos de mariposas de México y la regionalización biogeográfica. En: J. Llorente, y Morrone, J.J., eds. *Regionalización biogeográfica en Iberoamérica y tópicos afines: Primeras Jornadas Biogeográficas RIBES*. México: Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 269-294.
- Rueda-Salazar, A.M. y Cano-Santana, Z., 2009. Artropodofauna. En: A. Lot y Cano-Santana, Z., eds. *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 171-201.
- Rzedowski, J., 1978. *Vegetación de México*. México: Editorial Limusa.
- Scoble, M.J., 1992. *The Lepidoptera. Form, function and diversity*. Nueva York: The Natural History Museum Publications and Oxford University Press.
- Shields, O. 1989. World numbers of butterflies. *Journal of Lepidopterists' Society*, 43(3), pp. 178-183.
- Trujano-Ortega, M. y Luis-Martínez, M.A., 2016. Las mariposas diurnas. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Secretaría del Medio Ambiente del

Distrito Federal (SEDEMA). *La biodiversidad en la Ciudad de México*. CONABIO/SEDEMA. México. 335-342

---

<sup>1</sup> Laboratorio de Entomología, Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera”, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.  
Correo electrónico autor responsable\*: [marysol\\_trujano@yahoo.com.mx](mailto:marysol_trujano@yahoo.com.mx)

## ANFIBIOS Y REPTILES DEL SUELO DE CONSERVACIÓN CONTRERENSE

*Andrés Alberto Mendoza-Hernández<sup>1</sup>, Israel Solano-Zavaleta<sup>1</sup>, Uri Omar García-Vázquez<sup>2\*</sup> y Adrián Nieto-Montes de Oca<sup>1</sup>*

### **Introducción**

Con la presencia de 376 especies de anfibios (Parra-Olea, *et al.*, 2014) y 864 especies reptiles (Flores-Villela y García-Vázquez, 2014), México es considerado en el mundo uno de los países con mayor diversidad herpetofaunística (Pough, *et al.*, 2001; Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2004; Ochoa y Flores, 2006; Flores-Villela y García-Vázquez, 2014; Parra-Olea, *et al.*, 2014). Sin embargo, aún existen muchas localidades o municipios del país que carecen de estudios sistemáticos que permitan conocer con bases científicas la mayoría de su herpetofauna. Además, actualmente, tanto el país como el planeta, enfrentan una grave situación de deterioro ambiental y una notable reducción de la biodiversidad, principalmente como consecuencia del incremento de las actividades antropogénicas, tales como las agrícolas, ganaderas y forestales, así como la expansión urbana (Bojórquez-Tapia, *et al.*, 1995). Específicamente, con respecto a la declinación de las poblaciones de anfibios y reptiles, estudios recientes sostienen que el principal factor responsable es la modificación y destrucción del hábitat (Stuart, *et al.*, 2008; Böhm *et al.*, 2013). En el caso de los anfibios, las enfermedades y el cambio climático, también han sido señalados como causas probables de la extinción de algunas especies (Lips, *et al.*, 2008).

Un claro ejemplo de la acelerada expansión urbana es la Ciudad de México, cuya zona urbana abarca más que sus zonas boscosas, considerándose una de las mayores aglomeraciones urbanas del mundo (INEGI, 2010). Es claro que esta expansión urbana ha contribuido significativamente a la pérdida de la vegetación original de la Ciudad de México, con una tasa de destrucción de alrededor del 4% anual (Challenger, 1998), y relegando sus escasas áreas boscosas a las orillas y regiones más elevadas. Como consecuencia de lo anterior, se ha observado una reducción en el número de especies que habitan algunas zonas al norte de la Ciudad de México (Méndez-De la Cruz, *et al.*, 1992). El Suelo de Conservación presente en la delegación La Magdalena Contreras, es una

de los pocos sitios que salvaguardan los remanentes boscosos en la Ciudad de México; sin embargo, el grado de afectación que las actividades humanas han provocado, y aunado a los limitados estudios herpetofaunísticos sistemáticos pasados y recientes que permitan conocer, con bases científicas, la herpetofauna presente en cada una de las delegaciones de la Ciudad de México, hacen pensar que los pocos registros aislados de los anfibios y reptiles que se conocían para el SCC puedan considerarse inciertos y no actualizados.

Los estudios sobre anfibios y reptiles de la Ciudad de México son escasos. Uribe-Peña *et al.* (1999) y Ramírez-Bautista *et al.* (2009) publicaron listas de los anfibios y reptiles que se distribuyen en las serranías que rodean a la Ciudad de México y la Cuenca de México, respectivamente. Ambos trabajos incluyen registros de anfibios y reptiles de algunas localidades específicas en los límites de las distintas delegaciones de la Ciudad de México, además de proveer datos sobre la morfología, la distribución geográfica, la ecología e historia natural de las especies enlistadas. Además de los registros mencionados por estos autores, existen trabajos sobre la taxonomía, distribución geográfica, historia natural, hábitos alimentarios, ecología térmica y la ecología de poblaciones de algunas de las especies que por su distribución podrían encontrarse en el SCC (Mendoza-Hernández *et al.*, 2004; Zaldivar-Riverón *et al.*, 2005; Goyenechea y Flores-Villela, 2006; Pacheco-Coronel, 2006; García-Vázquez y Güizado-Rodríguez, 2008; García-Vázquez *et al.*, 2008; Mendoza-Hernández *et al.*, 2008; Solano-Zavaleta *et al.*, 2008; Rodríguez, 2009; Güizado-Rodríguez y García-Vázquez, 2010; Güizado-Rodríguez *et al.*, 2011; García-Vázquez *et al.*, 2012).

Ante los graves problemas de deterioro que enfrenta el país y en particular la Ciudad de México, el primer paso para desarrollar cualquier estrategia de conservación es la generación de conocimiento científico acerca de los seres vivos que habitan sus ecosistemas; sin embargo, hasta la fecha no se cuenta con ninguna publicación específica que trate sobre los anfibios y reptiles del Suelo de Conservación de la Ciudad de México y en concreto del SCC. El presente trabajo aporta una lista de las especies de estos grupos en el SCC, así como información sobre su distribución por tipos de vegetación y altitudinal, datos ecológicos y de historia natural. Se

espera que este estudio también sea de utilidad para la comparación de las especies de anfibios y reptiles en otras áreas naturales protegidas de la Ciudad de México, que tengan o no un listado herpetofaunístico. Por ejemplo, se ha encontrado que cada una de las especies que se han registrado en el Parque Nacional Desierto de los Leones, también habita en el SCC (Mendoza-Hernández, datos no publicados).

## **Métodos**

Los anfibios y reptiles registrados para el SCC se determinaron a partir de información recopilada de tres fuentes complementarias. En primer lugar, para la búsqueda de organismos, se realizaron salidas al campo desde enero de 2006 hasta mayo de 2008, explorando el sitio un total de 74 días. En cada salida, se efectuaron recorridos sin dirección previamente determinada y búsquedas no selectivas, con un esfuerzo de colecta de seis horas por día, con la participación de dos a tres personas. Para el registro y captura de los anfibios y reptiles, se revisaron microhábitats usuales donde se conoce que pueden encontrarse (rocas, troncos caídos, bajo hojarasca, oquedades, cuerpos de agua, entre otros), en los diferentes tipos de vegetación y zonas de cultivo del SCC. Se utilizaron métodos convencionales de recolecta y preservación (Pisani y Villa, 1974; Casas-Andreu *et al.*, 1991). En segundo lugar, se consultaron las bases de datos de las siguientes colecciones científicas de México y Estados Unidos: Museo de Zoología *Alfonso L. Herrera*, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (MZFC); Colección Nacional de Anfibios y Reptiles, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (CNAR); Museum of Natural History, University of Kansas (KU); Amphibian and Reptile Diversity Research Center, University of Texas at Arlington (UTA) y Division of Amphibians and Reptiles, Field Museum of Natural History, Chicago (FMNH). En tercer lugar, se realizó una revisión de literatura especializada (Rossman *et al.*, 1996; Uribe-Peña *et al.*, 1999; Duellman, 2001; Campbell y Lamar, 2004; Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007, Ramírez-Bautista *et al.*, 2009). Esta revisión bibliográfica fue para complementar el listado herpetofaunístico obtenido a partir de trabajo de campo. El listado herpetofaunístico presentado sigue el arreglo sistemático propuesto por Flores-Villela y García-Vázquez, 2014 y Parra-Olea *et al.* 2014.

El análisis de la distribución altitudinal y por tipos de vegetación de la herpetofauna se llevó a cabo considerando las 23 especies observadas en el SCC. El intervalo de distribución altitudinal para cada especie se obtuvo a partir de restar la elevación máxima menos la elevación mínima registrada para cada una de las especies observadas en el trabajo de campo.

Para determinar la similitud herpetofaunística entre los tipos de vegetación considerados, se empleó el índice de similitud de Jaccard, que considera la relación entre el número de especies comunes en dos áreas a comparar y el total de especies encontradas en éstas; asimismo, permite realizar comparaciones con base en la presencia o ausencia de especies en cada área, sin tomar en cuenta el número de organismos por especie ni el tamaño de las áreas (Jaccard, 1912; Real *et al.*, 1992).

Los datos ecológicos para las 28 especies registradas se obtuvieron a partir de las observaciones realizadas en campo y de la revisión de literatura especializada (Guillette y Casas-Andreu, 1987; Vega y Álvarez, 1992; Rossman *et al.*, 1996; Uribe-Peña *et al.*, 1999; Campbell y Lamar, 2004; Tinoco, 2005; Pacheco-Coronel, 2006; Rodríguez-Tejeda, 2006; Galván-Gutiérrez, 2007; Solano-Zavaleta *et al.*, 2008; Ramírez-Bautista *et al.*, 2009; Roth-Monzón, 2010).

## Resultados

La herpetofauna registrada para el SCC con base en este estudio fue de 28 especies (23 observadas en el trabajo de campo) pertenecientes a ocho familias y 13 géneros (Tabla 1). Esta herpetofauna representa aproximadamente el 44% de las especies registradas previamente para la Ciudad de México y 11% de las especies registradas previamente para la Faja Volcánica Transmexicana (FVT). Las serpientes y lagartijas fueron los grupos mejor representados, con 10 especies cada uno, seguidos por las salamandras, con seis y las ranas, con sólo dos (Tabla 1). La familia de anfibios con mayor número de especies fue Plethodontidae con cinco y el género mejor representado de esta familia fue *Pseudoeurycea*, con cuatro especies. Las familias de reptiles con mayor número de especies fueron Phrynosomatidae y Colubridae, con ocho y siete, respectivamente, mientras que los géneros mejor representados en cada una de estas familias fueron *Sceloporus* y *Thamnophis*, con siete y cuatro especies, respectivamente ( [Anexo 1](#) ).

**Tabla 1**

Tabla 1. Números de familias, géneros y especies registradas por cada grupo principal de anfibios y reptiles en el Suelo de Conservación Contrerense, CDMX. El número entre paréntesis es el porcentaje que el número entero representa con respecto del total (elaboración propia).

	Familias %	Géneros	Especies
<b>Anfibios</b>			
Ranas	1 (12.5)	1 (7.7%)	2 (7.1%)
Salamandras	2 (25)	3 (23.0%)	6 (21.4%)
<b>Reptiles</b>			
Lagartijas	3 (37.5)	4 (30.8%)	10 (35.7%)
Serpientes	2 (25)	5 (38.5%)	10 (35.7%)
<b>Total</b>	<b>8 (100%)</b>	<b>13 (100.0%)</b>	<b>28 (100%)</b>

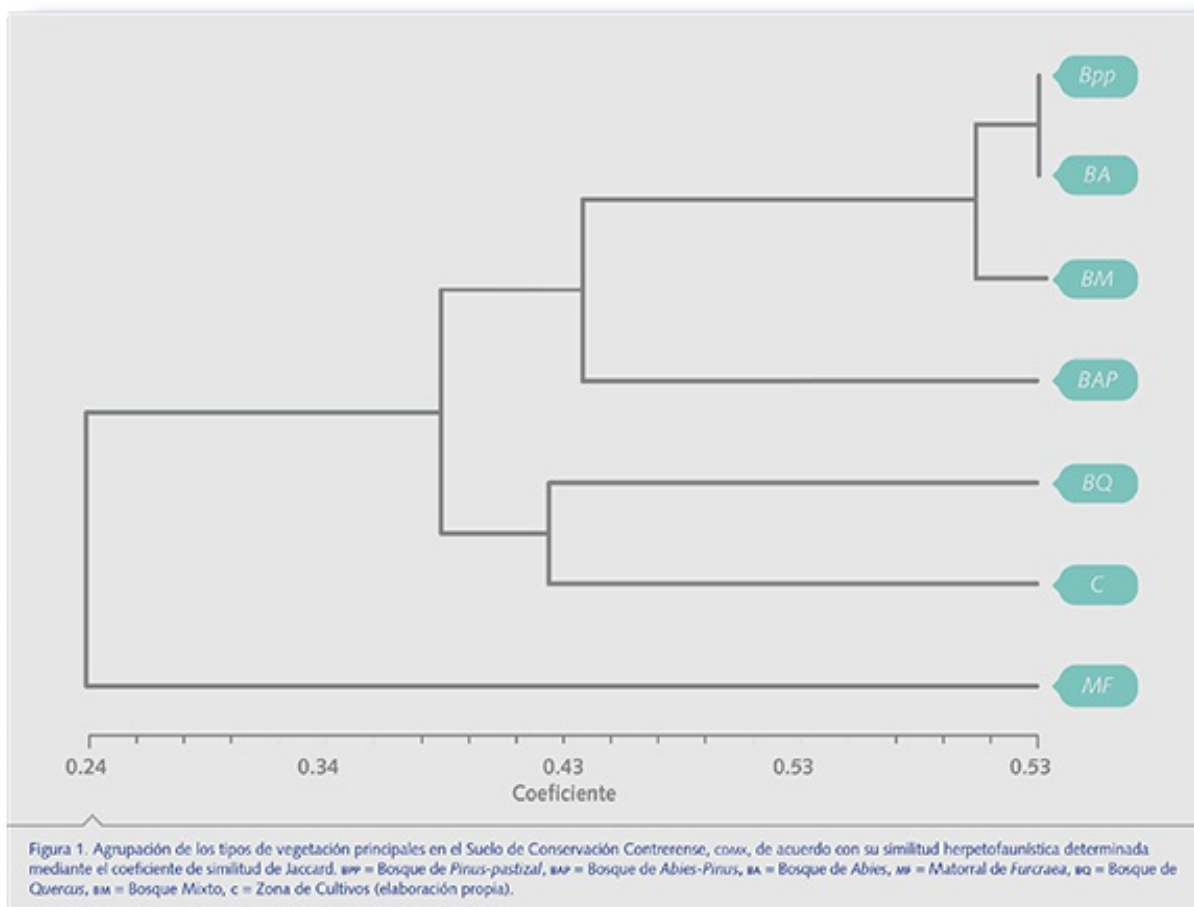
De las 28 especies registradas para el SCC, 26 son endémicas de México, exceptuando *Diadophis punctatus* y *Thamnophis eques*, lo que representa aproximadamente el 3.8% de las especies endémicas del país. También se puede establecer que de las 52 especies endémicas a la FVT, 10 de ellas se registraron en el SCC, lo que representa 19.2%. Además, cinco de estas 10 especies (*Ambystoma altamirani*, *Pseudoeurycea altamontana*, *Sceloporus anahuacus*, *S. sugillatus* y *Crotalus transversus*) tienen una distribución restringida a la zona centro de la FVT, distribuyéndose en la Ciudad de México y los Estados de México y/o Morelos, representando el 50% del total de especies endémicas registradas en el SCC ( [Anexo 1](#) ).

Considerando las 23 especies observadas durante el trabajo de campo, el bosque de *Abies* fue en el que se observó el mayor número de especies con 15, seguido por el bosque de *Pinus*-pastizal con 14, los bosques mixto y de *Quercus* con 12 cada uno, las zonas de cultivo con ocho, el bosque de *Abies-Pinus* con siete y el matorral de *Furcraea* con sólo cuatro especies ( [Anexo 2](#) ). La mayor observación de individuos se registró en el bosque de *Pinus*-pastizal. Las especies de las cuales se observaron más individuos fueron: *Sceloporus anahuacus*, en el bosque de *Pinus*-pastizal; *Pseudoeurycea leprosa*, en el bosque de *Abies-Pinus*; *S. palaciosi*, en el bosque de *Quercus*, matorral de *Furcraea*, bosque mixto y bosque de *Abies*, y *S. aeneus*, en las zonas de cultivos ( [Anexo 2](#) ).

Las comunidades vegetales con mayor similitud herpetofaunística



fueron, por un lado, el bosque de *Pinus*-pastizal y el bosque de *Abies*, que compartieron 11 especies entre sí (48%), y el bosque mixto, que compartió 9 especies con cada uno de ellos (39%); por otro lado, el bosque de *Quercus* y las zonas de cultivos, compartieron seis especies entre sí (26%). La vegetación con la composición herpetofaunística más disímil fue el matorral de *Furcraea*, que compartió, cuatro especies con el bosque de *Pinus*-pastizal y bosque mixto (17%), tres especies con el bosque de *Abies* y el bosque de *Quercus* (13%), y dos con el bosque de *Abies-Pinus* y las zonas de cultivos (9%; Fig. 1).



**Figura 1**

Las 23 especies observadas en el SCC se registraron entre altitudes de los 2 465 y 3 749 msnm. Para cinco especies *Pseudoeurycea bellii*, *Phrynosoma orbiculare*, *Sceloporus sugillatus*, *Thamnophis pulchrilatus* y *Crotalus transversus*, se observó sólo un ejemplar, por lo que no fue posible determinar su intervalo altitudinal en el SCC. Un caso similar fue el de *Pseudoeurycea cephalica*, de la que se observaron cinco ejemplares, en dos sitios diferentes, con elevaciones muy similares (con diferencia de

tres metros). Cuatro especies, *Pseudoeurycea leprosa*, *Barisia imbricata*, *Sceloporus mucronatus* y *Thamnophis scalaris*, mostraron los intervalos de distribución altitudinal más amplios (de más de 1 000 m); mientras que cuatro especies, *Hyla plicata*, *Ambystoma altamirani*, *Pseudoeurycea cephalica* y *Sceloporus grammicus*, tuvieron intervalos reducidos a menos de 100 m ( [Anexo 2](#) ).

De las ocho especies de anfibios registradas para el SCC, cuatro fueron de hábitos estrictamente terrestres (50%), tres de hábitos terrestres y acuáticos (37.5%) y una de hábitos terrestres, saxícolas y acuáticos (12.5%); mientras que de las 20 especies de reptiles, 8 fueron de hábitos estrictamente terrestres (40%), seis de hábitos terrestres y acuáticos (30%), una de hábitos terrestres y saxícola (5%), y cinco de hábitos terrestres, saxícolas y arborícolas (25%; [Anexo 2](#) ).

De las ocho especies registradas de anfibios, dos (25%) son estrictamente diurnas y seis (75%) son de hábitos diurnos y nocturnos, mientras que de las 20 especies de reptiles, 15 son estrictamente diurnas (75%) y cinco de hábitos diurnos y nocturnos (25%) ( [Anexo 2](#) ).

De las ocho especies registradas de anfibios, siete (87.5%) son estrictamente insectívoras y una (12.5%) de hábitos insectívoros y carnívoros. En cuanto a los reptiles, dos especies fueron estrictamente carnívoras (10%), 13 fueron insectívoras-carnívoras (65%) y cinco herbívoras, insectívoras y carnívoras (25%; [Anexo 2](#) ). Todas las especies de anfibios presentaron el modo de reproducción ovíparo. Entre los reptiles, 18 de las especies (90%) fueron vivíparas, mientras que sólo dos (10%) son ovíparas (*Sceloporus aeneus* y *Diadophis punctatus*).

De las 28 especies de anfibios y reptiles registradas para el SCC, cinco de ellas (*Hyla eximia*, *Chiropterotriton orculus*, *Diadophis punctatus*, *Thamnophis eques* y *T. scaliger*) se registraron a través de la literatura. Tres especies (*Sceloporus sugillatus*, *Thamnophis pulchrilatus* y *Crotalus transversus*) fueron observadas y registradas por primera vez para la Ciudad de México, sin embargo, sólo se encontró un espécimen de cada especie. De las 28 especies registradas, 15 (54%) se encuentran en alguna categoría de protección (SEMARNAT, 2010): nueve como amenazadas (A), cinco sujetas a protección especial (Pr) y una, *Crotalus transversus*, en peligro de extinción (E). Con base en la lista roja de especies

amenazadas que establece la IUCN, de las 28 especies registradas, 21 especies (75%) se encuentran en la categoría de preocupación menor (LC), cuatro (14.29%) en la categoría de vulnerables (VU), dos (7.14%) en peligro (EN) y una (3.57%) en casi amenazada (NT; [Anexo 1](#)).

## **Discusión**

En números absolutos, la riqueza de especies de la herpetofauna del SCC es considerablemente menor que la de la Sierra del Chichinautzin (47 especies; Castro-Franco y Bustos, 2006) o la de las serranías de la Ciudad de México (44 especies; Uribe-Peña *et al.*, 1999), pero mayor que la de los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl (22 especies; Vega-López y Álvarez, 1992). Estas tres áreas se encuentran en la región central de la FVT y son similares a la vegetación y características ecológicas presentes en el SCC.

De hecho, las serranías de la Ciudad de México incluyen al SCC, además de otras áreas y, evidentemente, el que haya un mayor número de especies de herpetofauna en las serranías de la Ciudad de México que en el SCC, sugiere que la riqueza de especies de la herpetofauna del SCC no es baja, ya que esta zona es menor que el de las otras áreas. Sin embargo, calificar la riqueza de especies de la herpetofauna del SCC como alta o baja en comparación con la de otras áreas es difícil, pues tendría que conocerse con exactitud la extensión territorial de las áreas comparadas, así como el grado de conocimiento de sus herpetofaunas.

Las 28 especies de anfibios y reptiles registradas en este estudio para el SCC, podría considerarse que conjuntan un porcentaje alto de las especies reconocidas para FVT (11%) y de la Ciudad de México (44%), sobre todo de la Ciudad de México, al habitar 28 de las 64 especies conocidas para dicha ciudad (Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007). Además, al considerar las 52 de especies endémicas a la FVT (Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007), una importante región de endemismo a nivel nacional por sus peculiares características orográficas, climáticas y de vegetación (Espinosa y Ocegueda, 2007), se pudo establecer que 10 de las especies de anfibios y reptiles observadas del SCC son endémicas de la FVT, aproximadamente el 19%. Por otra parte, es importante señalar que en toda la Ciudad de México hay registradas 18 de las 52 especies endémicas a la provincia de la FVT (Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007), y que 10 (aproximadamente el 55.5%) de ellas las podemos

observar en el SCC. De esta manera, el SCC puede considerarse un área de gran relevancia para la conservación de los anfibios y reptiles endémicos de la FVT con distribución en la Ciudad de México.

Con base en este estudio, en el SCC sólo algunas especies de reptiles, y ningún anfibio, fueron de hábitos arborícolas. En este caso debe considerarse que solo se registraron dos especies de ranas, *Hyla eximia* y *Hyla plicata*, especies que son conocidas por haber sido registradas la mayoría de las ocasiones en cuerpos de agua como charcos arroyos o lagos temporales (Duellman, 2001; Ramírez-Bautista *et al.*, 2009). Lo que nos hace inferir que la mayor parte de los recursos que utilizan estas especies para vivir no están disponibles en los árboles, o simplemente que es más frecuente registrarlas cerca a cuerpos de agua.

El tipo de alimento que consumen los anfibios y reptiles está usualmente determinado por la relación de tamaño entre el depredador y la presa (Fontillanes *et al.*, 2000). En el SCC la mayor parte de la herpetofauna, al igual que en otras regiones de la FVT, está constituida por organismos de tamaño mediano y pequeño (Vega y Álvarez, 1992; Uribe-Peña *et al.*, 1999; Castro-Franco y Bustos, 2006; Ramírez-Bautista *et al.*, 2009), lo cual determina, al menos en parte, que todos los anfibios, con excepción de *Ambystoma altamirani*, presenten una dieta esencialmente insectívora (Ramírez-Bautista *et al.*, 2009), mientras que la mayoría de las lagartijas y serpientes, organismos de mayor tamaño que la mayoría de los anfibios registrados en este estudio, fueron esencialmente insectívoras y carnívoras.

De acuerdo con Rzedowski (1978), un factor de gran importancia para definir la distribución de la vegetación es la temperatura. En la FVT, la temperatura oscila entre 14°C y 20°C; es decir, es relativamente baja (Espinosa y Ocegueda, 2007). Estas temperaturas favorecen la presencia de un mayor número de organismos diurnos en la zona, conducta que es considerada como una adaptación para evitar la exposición a las temperaturas bajas que se presentan durante la noche (Porter, 1972; Avery, 1979).

La reproducción de los reptiles es afectada principalmente por las condiciones de temperatura y el fotoperiodo (Porter, 1972). Se ha observado que la viviparidad es un fenómeno común en bosques

templados, en parte como respuesta de los organismos a factores ambientales, como las bajas temperaturas, que ponen en riesgo la supervivencia de las crías (Avery, 1979). Dado que el SCC es una región en donde predominan los climas relativamente fríos (García, 1988), el modo de reproducción vivíparo es ventajoso para los reptiles que habitan en la zona, lo cual puede explicar su predominancia (Pianka, 1986).

Aunque no existen datos precisos para evaluar el posible efecto de la pérdida de la cubierta forestal del SCC sobre su herpetofauna, parece evidente que en las últimas décadas la composición de las diferentes poblaciones de esta herpetofauna se han visto alteradas en cierto grado. El hecho de no haber observado, a través del trabajo de campo durante 20 meses, a cinco especies que previamente habían sido registradas en la literatura para las zonas boscosas de La Magdalena Contreras y la rareza de otras, podría ser considerada evidencia de esa modificación, simplemente que en los límites del SCC son difícil de observarse. La pérdida gradual de la vegetación natural puede originar la formación de parches en el hábitat y fragmentar significativamente las poblaciones de anfibios y reptiles (Ceballos *et al.*, 2005), lo que podría provocar la desaparición de algunas especies y poner en riesgo la presencia de otras en el SCC. Otro factor de presión a considerar es la colecta de algunas de estas especies para su venta como mascotas en varios mercados de la Ciudad de México, como *Hyla plicata*, *Barisia imbricata*, *Phrynosoma orbiculare*, *Sceloporus mucronatus*, *S. torquatus* y *Diadophis punctatus* (Ruíz, 2008). Evidentemente, la captura sin control y la comercialización ilegal amenazan la supervivencia de estas especies y podrían conducir las a su extinción local (Castro-Franco y Bustos, 2006).

En los últimos años, se han realizado diversos esfuerzos orientados a proteger los diferentes hábitats en la Ciudad de México (Secretaría de Medio Ambiente, 2011). Sin embargo, aún se requiere de una mayor difusión de dichos esfuerzos y un mayor apoyo para los mismos, con el fin de incrementar su eficacia y promover su continuidad. También es necesaria la creación de nuevas estrategias que busquen la conservación de los anfibios y reptiles en la Ciudad de México.

### **Agradecimientos**

Este trabajo fue posible gracias al proyecto “Manejo de Ecosistemas y

Desarrollo Humano” de la Universidad Nacional Autónoma de México (SDEI-PTID-02). Agradecemos a las autoridades ejidales de la DMC, así como a los habitantes de la zona, por su hospitalidad; a C. Duifhuis-Rivera, R. Carrasco-García, J. Maceda-Cruz y J. Reyes-Velasco, por su ayuda en el trabajo de campo; y a J. Campbell y E. Smith (University of Texas at Arlington), L. Trueb y J. Simmons (University of Kansas), J. B. Ladonski y A. Resetar (Field Museum of Natural History), y V. H. Reynoso (Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México) por el acceso a la información de las colecciones a su cargo.

## Referencias

- Avery, R.A., 1979. *Lizards: A study in thermoregulation*. Londres: Edward Arnold Publishers.
- Bojórquez-Tapia, L.A., *et al.*, 1995. Identifying conservation priorities in Mexico through geographic information systems and modeling. *Ecological Applications*, 5(1): 215-231.
- Böhm, *et al.*, 2013. The Conservation Status of the World's Reptiles. *Biological Conservation*, 157, pp. 372-385.
- Campbell, J. A. y Lamar, W.W., 2004. *The Venomous reptiles of the western hemisphere*. Nueva York: Cornell University Press.
- Casas-Andreu, G., Valenzuela-López, G. y Ramírez-Bautista, A., 1991. *Cómo hacer una colección de anfibios y reptiles*. México: Cuadernos del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Castro-Franco, R. y Bustos, M.G., 2006. *Herpetofauna de las áreas naturales protegidas Corredor Biológico Chichinautzin y la Sierra de Huautla, Morelos, México*. México: Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad.
- Ceballos, G., Cruzado, J. y Colón, C., 2005. Conservación de la fauna en peligro de extinción en el bosque de Chapultepec. *Biodiversitas*, 61, pp. 12-15.
- Challenger, A., 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*. México: Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, y Agrupación Sierra Madre, S. C.
- Duellman, W.E., 2001. *The hylid frogs of middle America*. Society for the

- Study of Amphibians and Reptiles. Nueva York: Natural History Museum of the University of Kansas, Ithaca.
- Espinosa, D. y Ocegueda, S., 2007. Introducción. En: I. Luna, Morrone, J.J. y Espinosa, D., eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. México. Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 5-6.
- Flores-Villela, O. y Canseco-Márquez, L., 2004. Nuevas especies y cambios taxonómicos para la herpetofauna de México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 20(2), pp. 115-144.
- Flores-Villela, O. y Canseco-Márquez, L., 2007. Riqueza de la herpetofauna. En: I. Luna, Morrone, J.J. y Espinosa, D., eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. México. Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 407-420.
- Flores-Villela, O. y García-Vázquez, U.O., 2014. Biodiversidad de reptiles en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85, pp. S467-S475.
- Fontillanes, P.J.C., García, C. y de Gaspar, I., 2000. *Los reptiles: Biología, comportamiento y patología*. Madrid: Mundi Prensa.
- Galván-Gutiérrez, A.A., 2007. *Algunos aspectos de la dieta de una población de la lagartija Sceloporus anahuacus (Sauria: Phrynosomatidae), en un bosque templado del Noroeste del Estado de México*. Tesis de Licenciatura. México. Facultad de Estudios Superiores, Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, E., 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México: Offset Larios.
- García-Vázquez, U. O. y Güizado-Rodríguez, M. A., 2008. Body temperature of *Crotalus triseriatus*. *Herpetological Bulletin*, 105, pp. 42-43.
- García-Vázquez, U.O., Solano-Zavaleta, I. y Nieto Montes-De Oca, A., 2008. Geographic distribution: *Crotalus transversus*. *Herpetological Review*, 39(4), p. 484.
- García-Vázquez, U. O., Mendoza-Hernández, A. A. y Solano-Zavaleta, I., 2012. Aporte al conocimiento del tamaño de camada de *Storeria*

- Storerioides* (COPE, 1865) y *Thamnophis pulchrilatus* (COPE, 1884) en el Distrito Federal, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 28 (1), pp. 211-214.
- Goyenechea, I. y Flores-Villela, O., 2006. Taxonomic summary of *Conopsis* Günther, 1858 (Serpentes: Colubridae). *Zootaxa*, 1271, pp. 1-27.
- Guillette, J. L. y Casas-Andreu, G., 1987. The reproductive biology of the high elevation Mexican lizard *Barisia imbricata*. *Herpetologica*, 43, pp. 29-38.
- Güizado-Rodríguez A. y García-Vázquez, U.O., 2010. Thermal ecology of *Pseudoeurycea leprosa* (Caudata: Plethodontidae) from Sierra del Ajusco, México. *Herpetological Bulletin*, 111, pp. 15-18.
- Güizado-Rodríguez A., García-Vázquez, U.O. y Solano-Zavaleta, I., 2011. Thermoregulation of a population of *Sceloporus palaciosi* from Sierra del Ajusco, México. *Southwestern Naturalist*, 56(1), pp. 120-124.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2010. Disponible en:  
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/poblacion/>, [consultado en marzo de 2013]
- IUCN, 2013. IUCN Red list of the threatened species. Version 2013.1. Disponible en: [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org).
- Jaccard, P., 1912. The distribution of the flora in the alpine zone. *The New Phytologist*. Vol. XI (2), pp. 37-50.
- Lips, K.R., *et al.*, 2008. Riding the Wave: Reconciling the Roles of Disease and Climate Change in Amphibian Declines. *Plos Biology*, 6(3), p. e72. Disponible en: doi:[10.1371/journal.pbio.0060072](https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0060072)
- Méndez-De la Cruz, F.R., *et al.*, 1992. Observaciones sobre el status de los anfibios y reptiles de la Sierra de Guadalupe (Distrito Federal-Estado de México). *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoológica*, 63(1), pp. 246-256.
- Mendoza-Hernández, A., *et al.*, 2004. *Crotalus ravus*. Diet. *Herpetological Review* 35(1), pp. 63-64.
- Mendoza-Hernández, A.A., García-Vázquez, U.O. y Nieto-Montes de Oca, A., 2008. Geographic distribution: *Sceloporus sugillatus*. *Herpetological Review* 39(4), pp. 483-484.



- Ochoa, O.M.L. y Flores, V.O.A., 2006. *Áreas de diversidad y endemismo de la Herpetofauna Mexicana*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Pacheco-Coronel, N., 2006. *Estudio comparativo de la carga parasitaria y hábitos alimentarios de cuatro especies de lagartijas simpátricas de la comunidad de Monte Alegre, Ajusco, México*. Tesis de Licenciatura. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Parra-Olea, G., Flores-Villela, O. y Mendoza-Almeralla, C., 2014. Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad. Supl.*, 85, pp. S460-S466.
- Pianka, E.R., 1986. *Ecology and natural history of desert lizards. Analyses of the ecological niche and community structure*. Nueva Jersey: Princenton University Press.
- Pisani, G. R. y Villa, J., 1974. Guía de técnicas de preservación de anfibios y reptiles. *Society for the Study of Amphians and Reptiles. Circular Herpetológica*, 2, pp. 1-24.
- Porter, K.D., 1972. *Herpetology*. Philadelphia: W. B. Sounder Company.
- Pough, F. H., et al., 2001. *Herpetology*. Nueva Jersey: Prentice Hall.
- Ramírez-Bautista A., et al., 2009. *Herpetofauna del Valle de México, diversidad y conservación*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Real, R., Vargas, J.M. y Guerrero, J.C., 1992. Análisis biogeográfico de clasificación de áreas y de especies. En: J.M. Vargas, Real, R. y Antúñez, A., eds. *Objetivos y métodos biogeográficos. Aplicaciones en Herpetología*. Asociación Herpetológica Española. Monografías de Herpetología. pp. 73-84.
- Rodríguez-Tejeda, R.E., 2006. *Hábitos alimentarios de la lagartija Sceloporus m. mucronatus en un bosque mixto (Pinus montezumae-Pinus hartwegii) de la Sierra del Ajusco, Estado de México*. Tesis de Maestría. México. Facultad de Estudios Superiores, Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rodríguez, R.F.R., 2009. *Dinámica poblacional del ajolote Ambystoma*

- altamirani en el río Magdalena, D. F.* Tesis de Licenciatura. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rossmann, D.A., Ford, N.B. y Seigel, R.A., 1996. *The Garter Snakes: Evolution and Ecology*. EUA: University of Oklahoma Press.
- Roth-Monzón, A. J., 2010. *Herpetofauna del municipio de Nopala de Villagrán, Hidalgo*. Tesis de Licenciatura. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ruíz, B. M., 2008. *Uso y comercialización de anfibios y reptiles de cuatro mercados del Distrito Federal*. Tesis de Licenciatura. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rzedowski, J., 1978. *Vegetación de México*. México: Editorial Limusa.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.
- Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal, 2011. Áreas Naturales Protegidas del Distrito Federal. Disponible en: <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/>
- Solano-Zavaleta, I., García-Vázquez, U.O. y Calderón-Espinosa, M.L., 2008. Natural History: *Crotalus ravus*. *Herpetological Review*, 39(4), p. 469.
- Stuart, S.N., et al., (eds.), 2008. *Threatened Amphibians of the World*. Virginia: Lynx Edicions, Barcelona, Spain; IUCN, Gland, Switzerland; and Conservation International, Arlington.
- Tinoco, N.C.M., 2005. *Serpientes del Estado de Querétaro*. Tesis de Licenciatura. México. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro.
- Uribe-Peña, Z., Ramírez-Bautista, A. y Casas Andreu, G., 1999. *Anfibios y Reptiles de las Serranías del Distrito Federal, México*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México: Cuadernos del Instituto de Biología.
- Vega-López, A. A. y Álvarez, S., 1992. Herpetofauna de los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 51, pp. 1-128.

Zaldivar-Riverón, A., Nieto-Montes de Oca, A. y Laclette, J.P., 2005. Phylogeny and evolution of dorsal pattern in the Mexican endemic lizard genus *Barisia* (Anguidae: Gerrhonotinae). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 43(3), pp. 243-257.

---

<sup>1</sup> Laboratorio de Herpetología, Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.

<sup>2</sup> Laboratorio de Sistemática Molecular, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, Batalla 5 de Mayo s/n, Ejercito de Oriente, Iztapalapa, 09230, Ciudad

\*Correo electrónico autor responsable: [urigarcia@gmail.com](mailto:urigarcia@gmail.com)

## Anexo 1

Anexo 1. Lista de especies registradas para el Suelo de Conservación Contrerense, COMEX (elaboración propia).

TAXON	Categoría en la NOM-059	Categoría de endemismo	Categoría en la IUCN
AMPHIBIA			
ANURA			
Hylidae (2)			
<i>Hyla eximia</i> * Baird, 1854		M	LC
<i>H. plicata</i> Brocchi, 1877	A	M	LC
CAUDATA			
Ambystomatidae (1)			
<i>Ambystoma altamirani</i> Dugès, 1895	A	M, F, V	EN
Plethodontidae (5)			
<i>Chiropetrotriton orculus</i> * (Cope, 1865)		M, F	VU
<i>Pseudoeurycea altamontana</i> (Taylor, 1939)	Pr	M, F, V	EN
<i>P. bellii</i> (Gray, 1850)	A	M	VU
<i>P. cephalica</i> (Cope, 1865)	A	M	NT
<i>P. leprosa</i> (Cope, 1869)	A	M, F	VU
REPTILIA			
SAURIA			
Anguidae (1)			
<i>Barisia imbricata</i> (Wiegmann, 1828)	Pr	M	LC
Phrynosomatidae (8)			
<i>Phrynosoma orbiculare</i> (Linnaeus, 1789)	A	M	LC
<i>Sceloporus aeneus</i> Wiegmann, 1828		M	LC
<i>S. anahuacus</i> Lara-Góngora, 1983		M, F, V	LC
<i>S. grammicus</i> Wiegmann, 1828	Pr	M	LC
<i>S. mucronatus</i> Cope, 1885		M	LC
<i>S. palaciosi</i> Lara-Góngora, 1983		M, F	LC
<i>S. sugillatus</i> Smith, 1942		M, F, V	LC
<i>S. torquatus</i> Wiegmann, 1828		M	LC
Scincidae (1)			
<i>Plestiodon copei</i> (Taylor, 1933)	Pr	M, F	LC
SERPENTES			
Colubridae (7)			
<i>Conopsis lineata</i> (Kennicott, 1859)		M	LC
<i>Diadophis punctatus</i> * (Linnaeus, 1766)			LC
<i>Storeria storerioides</i> (Cope, 1866)		M	LC
<i>Thamnophis eques</i> * (Reuss, 1834)	A		LC
<i>T. pulchellatus</i> (Cope, 1885)		M	LC
<i>T. scalaris</i> Cope, 1861	A	M	LC
<i>T. scaliger</i> * (Jan, 1863)	A	M	VU
Viperidae (3)			
<i>Crotalus ravus</i> Cope, 1865	Pr	M	LC
<i>C. transversus</i> Taylor, 1944	E	M, F, V	LC
<i>C. triseriatus</i> (Wagler, 1830)		M, F	LC

A = Amenazada; Pr = Sujeta a protección especial; E = En peligro de extinción. M = Endémica a México; F = Endémica a la Faja Volcánica Transmexicana; V = Endémica a la Ciudad de México y los Estados de México y/o Morelos; LC = Preocupación menor; EN = En peligro; VU = Vulnerable; NT = Casi amenazado; \* Registradas a través de literatura.

## Anexo 2

Anexo 2. Hábitos, actividad, alimentación, distribución por tipos de vegetación y distribución altitudinal de las especies de anfibios y reptiles registrados												
ESPECIE	HÁBITOS				ACTIVIDAD		ALIMENTACIÓN			VEGETACIÓN		
	TE	SX	AR	AC	NO	DI	HB	IN	CA	EP-p	BA-p	BA
<b>AMPHIBIA</b>												
<b>ANURA</b>												
Hylidae												
<i>Hyla eximia</i>	X	X		X	X	X		X				
<i>H. plicata</i>	X			X	X	X		X		40(38)		
<b>CAUDATA</b>												
Amphylomelidae												
<i>Amphytoma allammani</i>	X			X		X		X	X			3(1.79)
Pseudoeurycea												
<i>Chiropterodactylus orcutti</i>	X				X	X		X				
<i>Pseudoeurycea allamoniense</i>	X				X	X		X		10(59)		7(4.17)
<i>P. heloi</i>	X		X					X				10(59)
<i>P. cephalica</i>	X				X	X		X				4(2.30)
<i>P. leprosa</i>	X				X	X		X		31(2.93)	1(5.5)	16(9.52)
<b>REPTILIA</b>												
<b>SAURIA</b>												
Anguillidae												
<i>Batrachoseps emarginata</i>	X					X	X	X	X	18(1.70)	1(4.5)	15(8.93)
Phrynosomatidae												
<i>Phrynosoma orbiculare</i>	X					X		X	X			
<i>Sceloporus amarus</i>	X					X	X	X	X	13(1.23)		10(5.9)
<i>S. amabilis</i>	X	X				X		X	X	9(495.4)	4(18.18)	11(6.55)
<i>S. granulosus</i>	X	X	X			X	X	X	X			
<i>S. mucronatus</i>	X	X	X			X	X	X	X	15(1.42)		
<i>S. palaciosi</i>	X	X	X			X		X	X	9(0.85)	3(13.63)	9(55.36)
<i>S. sagittatus</i>	X	X	X			X		X	X			10(5.9)
<i>S. torquatus</i>	X	X	X			X	X	X	X	17(1.61)		3(1.79)
Scincidae												
<i>Pholisoma copei</i>	X					X		X	X	5(0.47)	1(4.5)	10(5.9)
<b>SERPENTES</b>												
Colubridae												
<i>Crotalus lineata</i>	X					X		X	X			
<i>Dipsosaurus punctatus</i>	X			X		X		X	X			
<i>Sideria storerioides</i>	X			X		X		X	X	1(0.09)		6(3.57)
<i>Thamnophis eques</i>	X			X	X	X		X	X			
<i>T. pulchellatus</i>	X			X		X		X	X			
<i>T. scabra</i>	X			X		X		X	X	6(0.57)	1(4.5)	2(1.19)
<i>T. scaliger</i>	X			X	X	X		X	X			
Viperidae												
<i>Crotalus toxus</i>	X				X	X		X	X			
<i>C. tranmerianus</i>	X				X	X		X	X	1(0.09)		
<i>C. triseriatus</i>	X				X	X		X	X	32(3.02)	1(4.5)	4(2.30)
<b>TOTAL</b>	<b>28</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>20</b>	<b>9</b>	<b>26</b>	<b>21</b>	<b>109</b>	<b>22</b>	<b>168</b>

TE = Terrestre; SX = Saxícola; AR = Arborescente; AC = Acuático; NO = Nocturno; DI = Diurno; HB = Herbívoro; IN = Insectívoro; CA = Carnívoro. El primer número corresponde y el número entre paréntesis es el porcentaje que representa con respecto al total para ese tipo de vegetación EP-p = Bosque de Pinus-pastizal, BA-p = Bosque de Abies-Pinus,

## AVIFAUNA DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

*Fernando Puebla-Olivares<sup>1\*</sup>, Elsa Margarita Figueroa-Esquivel<sup>1</sup>, Claudia Ivette Delgado-Ramírez<sup>2</sup>, Héctor Carlos Olguín Monroy<sup>2</sup> y Livia León Paniagua<sup>2</sup>*

### **Introducción**

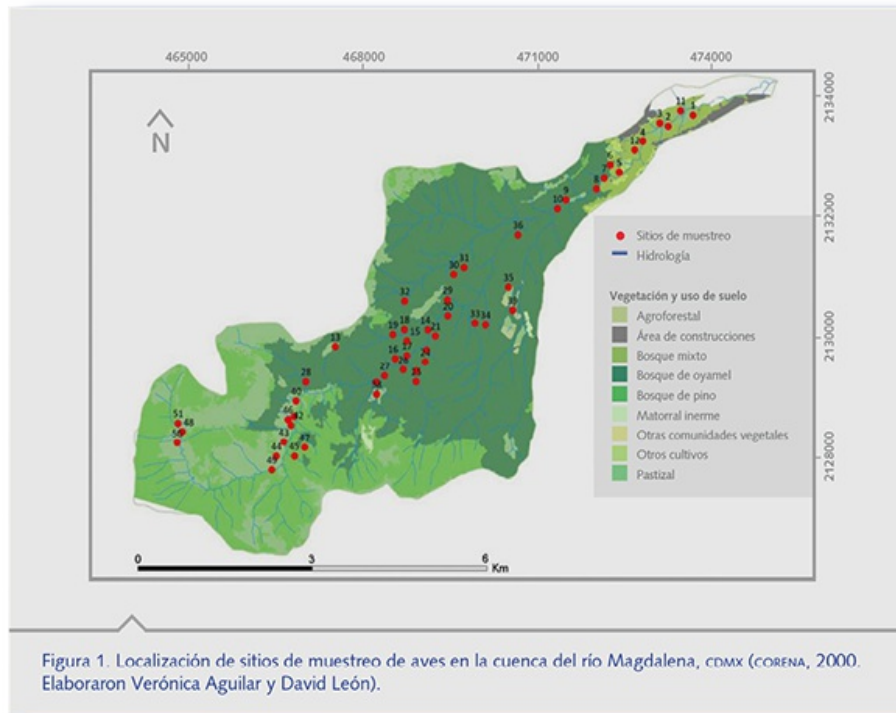
La Ciudad de México forma parte de la provincia fisiográfica de la Faja Volcánica Transmexicana (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2001), en la que se presenta una transición natural entre grupos biológicos con relación tanto Neártica como Neotropical; además, es considerada como un centro de diversificación y endemismo para diferentes taxones (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2007; Espinosa y Ocegueda, 2007) y de coexistencia de especies de diferente origen biogeográfico, como la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre Oriental, la Sierra del Sur, la Sierra de Oaxaca y las Serranías Transísmicas (Morrone, 2005; Espinosa y Ocegueda, 2007). El hecho de que la Ciudad de México se encuentre en dicha provincia tiene una enorme importancia biológica; sin embargo, sólo 59% de su área corresponde a Suelo de Conservación, el cual se distribuye principalmente en nueve delegaciones y sólo 9.3% del mismo corresponde a Áreas Naturales Protegidas, entre las que se encuentran declaratorias de carácter local y federal, misma que abarcan ecosistemas representativos (PGDUDF, 2003). El Suelo de Conservación es relevante para la ciudad, por los servicios ecosistémicos que ofrece, y para la conservación de la riqueza biológica de México, en general, y de la Ciudad de México en particular (PGOEDF, 2000-2003).

En este contexto, la Zona de Protección Forestal cuenca del río Magdalena, mejor conocida por los capitalinos como “Los Dinamos”, es considerada como una de las fuentes de agua potable más importantes para la Ciudad de México. Sin embargo, actualmente, debido a la expansión de los asentamientos urbanos irregulares, la tala clandestina y el turismo mal planificado, entre otros factores, enfrentan un proceso sostenido de contaminación del río, así como la degradación y pérdida de la fauna y flora originales, mismas que ni siquiera han sido inventariadas por completo. En el caso de las aves, a pesar de que se han realizado trabajos

en zonas aledañas (Cabrera 1995, Cabrera y Meléndez 1999), existe poca información para la cuenca del río Magdalena. Por ello, se presenta un primer listado de las aves de esta zona, el cual, se espera, proporcione elementos base para plantear en un futuro proyectos sobre el manejo, conservación y administración de la avifauna, como recurso natural de esta importante área de la Ciudad de México.

## **Método**

De octubre de 2005 a noviembre de 2007, se realizaron muestreos de la avifauna entre las 7:00 y las 18:00 horas, durante seis días de cada mes, cuando las condiciones climáticas lo permitieron. Se emplearon puntos de conteo de radio fijo (radio de 25m), muestreos intensivos (Ralph *et al.*, 1996) y recorridos aleatorios (Fig. 1). Los puntos de conteo estuvieron separados por una distancia mínima de 250 m, se emplearon 15 minutos para observación en cada uno de ellos y hasta 10 minutos más para la búsqueda de individuos que no pudieron ser identificados en los mismos. Los muestreos se realizaron en tres pisos altitudinales y en sus correspondientes comunidades vegetales: bosque mixto denominado así por incluir bosque de encino (*Quercus spp.*) con pino y pastizales y que se encontraron a una altitud de 2 560-3 000 msnm bosque de oyamel (*Abies religiosa* [Kunth] Schltdl. et Cham.) a una altitud de 3 060-3 450 msnm y bosque de pino (*Pinus hartwegii* Lindley) a una altitud de 3 130-3 850 msnm; en cada piso altitudinal se muestrearon de 5-20 sitios. Ocasionalmente, se emplearon de 10 a 12 redes de niebla para complementar los muestreos. Varios ejemplares capturados se recolectaron y se depositaron en la colección ornitológica del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias, UNAM. Los registros de especies fueron visuales y auditivos utilizando para ello binoculares 8 x 42, guías de identificación de campo (Howell y Webb, 1995) y grabaciones de cantos (Xeno-canto, 2010) respectivamente.



**Figura 1**

Se siguió la nomenclatura propuesta por la American Ornithologists' Union (AOU, 1998) hasta su suplemento más reciente (eg. Chesser *et al.*, 2015), la propuesta de nombres comunes en español de Escalante *et al.* (2014), el estatus de residencia de Howell y Webb (1995), el estatus de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT (2010) y la importancia de algunas especies susceptibles de usarse como aves canoras y de ornato de acuerdo a INE-CONABIO (1997).

Para evaluar si el esfuerzo de muestreo fue adecuado para representar la riqueza total, se construyó una curva de acumulación de especies con el programa Species accumulation que utiliza los modelos exponencial, de Clench y logarítmico para ajustar los datos observados (Díaz-Francés *et al.*, 2003). Se obtuvo la riqueza de especies en cada tipo de vegetación y se evaluaron las diferencias entre ellos a través de pruebas de  $\chi^2$ . Finalmente, se calculó el porcentaje de similitud avifaunística entre pisos altitudinales y su respectiva vegetación, a través de un dendrograma construido en el programa BioDiversity Pro 2.0 (McAleece *et al.*, 1997) usando la ecuación de distancia de Jaccard y los datos de presencia-ausencia de especies y con el método de medias no agrupadas (UPGMA unweighted pair-grouping method) (Ludwig y Reynolds 1988, Moreno 2001).



## Resultados

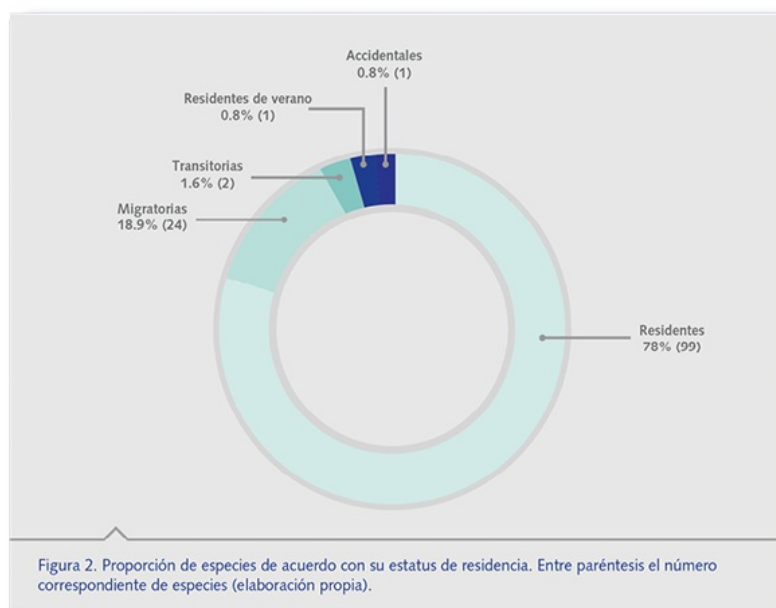
Se obtuvo una riqueza de 127 especies distribuidas en 10 órdenes y 36 familias (Tabla 1, Anexo 1). El orden Passeriformes incluyó la mayoría de familias (24) y de especies (96), seguido por los órdenes Apodiformes (vencejos y colibríes; dos familias y 12 especies), Accipitriformes (aguilillas y gavilanes; cinco especies) y Piciformes (pájaros carpinteros; cinco especies); los demás órdenes presentaron una o dos especies. De las 36 familias, cinco incluyeron el 50% de la riqueza; entre ellas, la familia Parulidae (chipes) con 14.2% de las especies, Emberizidae (rascadores y gorriones) con 12.6% y Trochilidae (colibríes) con 7.1%; mientras que Tyrannidae (mosqueros) y Turdidae (azulejos, mirlos y primaveras) representaron en conjunto 16% de la riqueza total con diez especies cada una de ellas. Respecto a los géneros, *Setophaga* (chipes) es el mejor representado con siete especies, seguido del género *Empidonax* (mosqueros, cuatro especies); otros géneros como *Contopus*, *Catharus*, *Turdus*, *Oreothlypis*, *Pipilo* o *Piranga* están representados por una a tres especies.

Tabla 1

Orden	Familias	Géneros	Especies
Passeriformes	24	65	96
Apodiformes	2	11	12
Accipitriformes	2	4	5
Piciformes	1	4	5
Strigiformes	2	2	2
Columbiformes	1	2	2
Galliformes	1	2	2
Falconiformes	1	1	1
Caprimulgiformes	1	1	1
Trogoniformes	1	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>	<b>93</b>	<b>127</b>

El análisis de acumulación de especies mostró que los datos se ajustaron mejor con el modelo de Clench, con lo cual las especies registradas (127) representan el 80% del total de especies que se esperaría encontrar. Por otra parte, 78% de las especies son residentes permanentes, 19% son migratorias de invierno y 1.5% son transitorias (*Contopus cooperi* y *Chaetura vauxi*), es decir, sólo usan el área como zona de paso.

*Contopus sordidulus* es una especie residente de verano que se reproduce en el área de estudio y pasa el invierno en Sudamérica (Fig. 2). Es importante mencionar que el 4 de febrero de 2007 en un área de bosque mixto (14Q 0473248 UTM 2133510) y a 2 585 msnm se registró por primera vez para la Ciudad de México un individuo del chipe *Setophaga tigrina*.



**Figura 2**

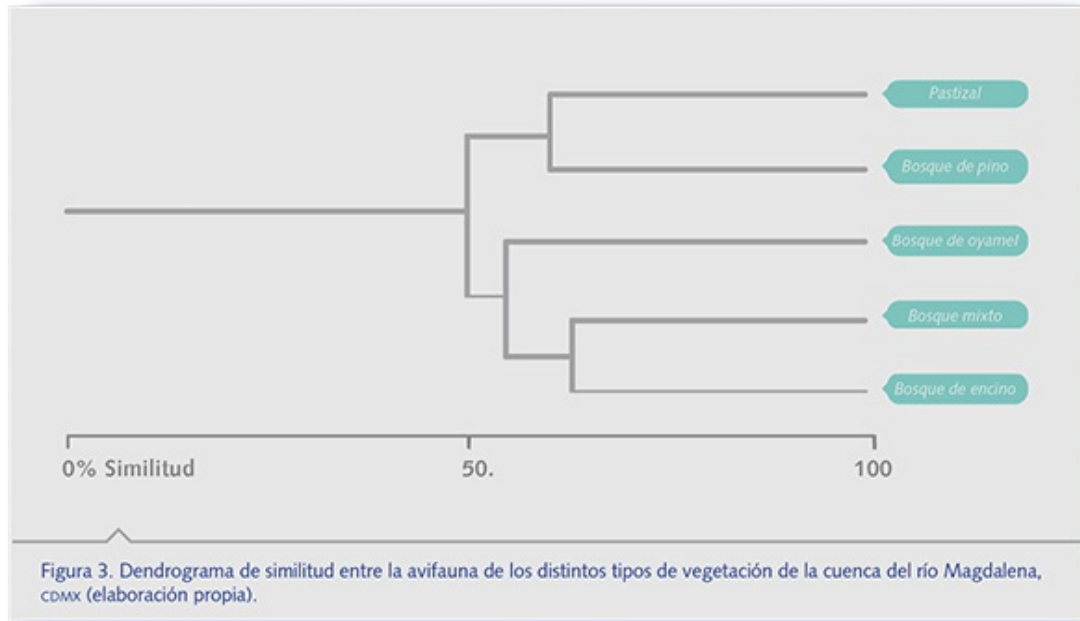
Respecto a las especies residentes, 14 de ellas son endémicas (especies cuya área total de distribución no sobrepasa los límites geográficos del país) de la Faja Volcánica Transmexicana y de México, y cuatro especies más son cuasiendémicas (especies cuya distribución se extiende ligeramente fuera de los límites políticos de México, es decir en países vecinos) para el país. Entre ellas destacan el gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*), el cual se observó en la zona alta del área de estudio (19°15'38.1''N y 99°17'31.2''W) a 3155 msnm y cuya distribución se considera restringida a la región del Ajusco. Dos familias concentran el mayor número de endemismos: Emberizidae (seis especies) en la que destacan los gorriones y rascadores *Pipilo ocai*, *Oriturus superciliosus* y *Melospiza kieneri*; y Turdidae, con dos especies endémicas (*Turdus rufopalliatu*s y *Catharus occidentalis*) y una cuasiendémica (*Ridgwayia pinicola*).

En cuanto al estatus de conservación, diez especies se encuentran en alguna categoría de riesgo. Entre ellas, *Xenospiza baileyi* está catalogada como en peligro de extinción, mientras que la codorniz-coluda

neovolcánica (*Dendrortyx macroura*, también endémica), y el chipe de Tolmie (*Geothlypis tolmiei*, una especie migratoria aunque de amplia distribución en México) se encuentran catalogadas como amenazadas. Bajo el estatus de protección especial se encuentran siete especies, entre ellas, el gavilán pecho rufo (*Accipiter striatus*), el vencejo nuca blanca (*Streptoprocne semicollaris*), el mirlo-acuático norteamericano (*Cinclus mexicanus*) y el clarín jilguero (*Myadestes occidentalis*).

Por otra parte, de acuerdo a INE-CONABIO (1997), en el área de estudio 21 especies son susceptibles de aprovechamiento como aves canoras y de ornato, entre ellas el pinzón mexicano (*Haemorhous mexicanus*), el azulejo garganta canela (*Sialia sialis*), la cuitlacoche pico curvo (*Toxostoma curvirostre*), el mirlo primavera (*Turdus migratorius*) y el clarín jilguero (*Myadestes occidentalis*). Sin embargo, en este estudio fue posible observar que personas locales capturan a algunas de estas especies, como el picogordo tigrillo (*Pheucticus melanocephalus*) para su comercio, aunque desconocemos si es bajo autorización de la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS).

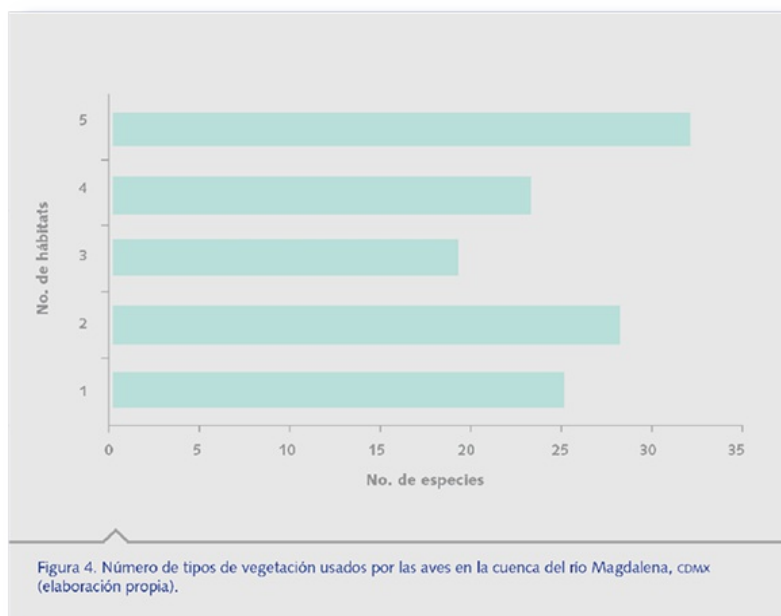
En cuanto a la riqueza de especies de aves por tipos de vegetación, el bosque de encino y el bosque de oyamel presentaron los valores más altos y no observamos diferencias significativas entre ellos (100 y 99 especies respectivamente;  $\chi^2 = 0.01$ ; g.l. = 1,  $P > 0.05$ ), aunque la riqueza de ambos tipos de vegetación sí difirió significativamente con respecto a la del pastizal, el bosque mixto y el bosque de pino (68, 63 y 60 especies respectivamente; todas  $P < 0.05$ ). Por otro lado, al analizar la similitud cualitativa de avifauna entre hábitats, se observó la formación de un grupo constituido por los bosques de encino, mixto y de oyamel, y otro grupo formado por el bosque de pino y el pastizal. La mayor similitud se encontró entre la avifauna del bosque de encino y el mixto (63%) al compartir 63 especies. En contraste, el bosque de pino y de encino mostraron la menor similitud (52.2%), al compartir 48 especies (Fig. 3).



**Figura 3**

Respecto a la distribución de las especies por tipo de vegetación, 43.3% (55 especies) fueron “generalistas” (especies que en este caso están presentes en varios o en todos los tipos de vegetación), ya que se encontraron tanto en los sitios de mayor como de menor altitud del área de estudio, entre ellas el capulnero gris (*Ptiliogonys cinereus*), el picogordo tigrillo (*Pheucticus melanocephalus*), la chara crestada (*Cyanocitta stelleri*), el rascador ojilumbre (*Junco phaeonotus*), la primavera (*Turdus migratorius*), el carbonero mexicano (*Poecile sclateri*) y el chipe rojo (*Cardellina rubra*). En contraste, 25 especies (19.7%) se registraron en un hábitat exclusivo: 15 de ellas en el bosque de oyamel como la matraca barrada (*Campylorhynchus megalopterus*), el búho cornudo (*Bubo virginianus*) y la urraca hermosa cariblanca (*Calocitta formosa*); ocho en el bosque de encino como el mosquero lampiño (*Camptostoma imberbe*), el colibrí lucifer (*Calothorax lucifer*) y el tapacamino cuerporruín sureño (*Antrostomus arizonae*) y dos en bosque de pino el chipe negrogris (*Setophaga nigrescens*) y el gorrión barba negra (*Spizella atrogularis*). Especies como el pradero tortilla con chile (*Sturnella magna*) y, principalmente el gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*), fueron observados sólo en las zonas más altas de matorrales, mientras que el mirlo de agua (*Cinclus mexicanus*) se observó únicamente en las partes más limpias del curso del río de La Magdalena Contreras, coincidiendo con las

preferencias de hábitat de la especie (Kingery 1996, Brandt-George 2003), por lo que parece restringirse a estas condiciones ambientales y podría considerarse una especie indicadora de la “buena salud” del río, arriba del Cuarto Dinamo (Fig. 4).



**Figura 4**

## Discusión

La Faja Volcánica Transmexicana debido a su posición geográfica, historia geológica y a la confluencia en ella de la zona neártica y neotropical, entre otros factores, es considerada como uno de los centros de endemismo y de riqueza de especies más importantes para algunos grupos de organismos y en general para la biodiversidad del país (Escalante *et al.*, 1998, Romero y Velázquez 1999); por lo que considerando al grupo de las aves, la cuenca del río Magdalena representa bastante bien dicha importancia. De esta manera, la riqueza de aves corresponde al 11.58% con respecto al total de la avifauna reconocida para México (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2013), el 38.7% del total de especies registradas para la Ciudad de México (Wilson y Ceballos-Lascurain, 1993) y el 60.2% de la avifauna registrada en la región boscosa del sur de la cuenca de México (Cabrera y Meléndez, 1999). Además las 18 especies endémicas o cuasiendémicas registradas representan el 14.4% del total de especies de aves endémicas del país (125 especies, Escalante *et al.*, 1998 y Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008), lo que demuestra la importancia de la zona de estudio para una gran

diversidad de aves residentes y migratorias características de la Faja Volcánica Transmexicana.

La riqueza de la zona de estudio se debe, entre otros factores, a su topografía escarpada, que dificulta su explotación forestal, y permite la presencia de las coberturas vegetales mejor conservadas del Suelo de Conservación de la Ciudad de México (PUEC-UNAM, 2008), lo que se refleja en la presencia de especies con requerimiento de hábitats conservados (eg. *Dendrortyx macroura*, *Cinclus mexicanus*), además de proveer una heterogeneidad de nichos ecológicos, recursos de forrajeo, refugio y otras condiciones adecuadas para la existencia de una rica avifauna (Lazo *et al.*, 1990; Shiu y Lee, 2003). Sin embargo, esta avifauna no ha sido completamente inventariada, aunque el esfuerzo de muestreo realizado permitió registrar una proporción significativa de ella; de hecho aunque algunas especies difieren, la riqueza registrada (129 especies) es concordante con la reportada (100-130 especies) para otras zonas de la cuenca de México (Ramos 1974; Necedal 1984; Parkes 1990; Wilson y Ceballos-Lascurain 1993, Arizmendi *et al.*, 1994; Cabrera 1995). Los taxones faltantes o que se registraron en trabajos previos en zonas aledañas, como por ejemplo *Caracara cheriway*, *Patagioenas fasciata*, *Aegolius acadicus*, *Trogon elegans*, entre otros (Wilson y Ceballos-Lascurain, 1993; Arizmendi *et al.*, 1994; Cabrera y Meléndez, 1999; Mancera y Barragán, 2000), pero no en el presente trabajo, se consideran especies localmente raras, transitorias o accidentales.

Por otra parte, aunque el gradiente altitudinal en la zona de estudio abarca sólo de 2 620 a 3 850 msnm, las comunidades de aves mostraron un patrón en el que la riqueza disminuye conforme aumenta la altitud, lo que es congruente con lo encontrado en otros trabajos (Navarro-Sigüenza 1992; Medina-Macías *et al.*, 2010). Sin embargo, factores como la falta de puntos de muestreo a menor altitud, el grado de disturbio y la mayor cantidad de especies asociadas a perturbación, pueden influir en enmascarar otros patrones subyacentes de distribución de las aves en un gradiente altitudinal, como el que la riqueza sea máxima a través de una meseta de bajas elevaciones y entonces disminuya con la elevación; que la riqueza sea alta en bajas elevaciones, máxima a mitad del gradiente y entonces disminuya linealmente con la elevación; o que la riqueza sea

menor en bajas elevaciones, máxima a mitad del gradiente y entonces disminuye con la elevación, (Rahbek, 2005, McCain 2009). En futuros estudios es necesario considerar estos factores para comprobar el patrón observado.

La estructura física del hábitat es una dimensión de nicho ecológico importante, que provee de diversos recursos a las aves (Terborgh, 1977) y aunque lo anterior no se evaluó en este estudio, se ha sugerido que puede explicar, en parte, la riqueza y su variación a lo largo del gradiente altitudinal, ya que los cambios graduales en las características estructurales de la vegetación y en la composición de especies de plantas, así como la alteración por disturbio antrópicos de esa misma estructura vegetacional, son determinantes en la abundancia, composición, diversidad y distribución horizontal de las comunidades de aves (Lazo *et al.*, 1990; Ugalde-Lezama *et al.*, 2010).

Así, la mayor riqueza avifaunística encontrada a baja altitud de la cuenca y, en conjunto, en el bosque de encino y mixto, se explica en parte por la mezcla de varias asociaciones vegetales en buen estado de conservación, que originan una gran complejidad estructural (Nava, 2003) y variedad de nichos ecológicos (Lazo *et al.*, 1990). Aunado a lo anterior, la presencia de una zona de transición en los límites del bosque mixto y de perturbación media derivada de actividades antrópicas, como el turismo y los asentamientos irregulares, permiten la presencia de especies asociadas a esta perturbación, como la paloma doméstica (*Columba livia*), el gorrión doméstico (*Passer domesticus*) y el zanate mexicano (*Quiscalus mexicanus*) (Johnston 1992, Lowther y Cink 1992, Johnson y Peer 2001) o de especies provenientes de las comunidades de aves vecinas (Romdal y Rahbek, 2009; Ugalde-Lezama *et al.*, 2010), en este caso del bosque de oyamel y del área urbana colindante, así como un mosaico de microhábitats ocupados temporal o parcialmente por diferentes especies de aves de hábitos flexibles en la utilización de la estructura modificada del bosque (eg. *Melanerpes formicivorus*, *Lanius ludovicianus*, *Myioborus miniatus*, *Haemorhous mexicanus*, *Columbina inca*, *Melospiza fusca*, *Molothrus aeneus*, entre otras).

La riqueza de aves del bosque de oyamel, por otra parte, representa una transición en los tipos de vegetación inmediatos y, aunque es la

comunidad vegetal más extensa dentro de la cuenca, se observó que su estructura vegetal vertical también es más homogénea que la del bosque mixto, lo que condiciona la disponibilidad de recursos, mismos que son aprovechados sólo por especies de aves típicas de este hábitat. En contraste, el bosque de pino es la comunidad vegetal más homogénea de la cuenca, razón que explica, en parte, la menor pero típica riqueza avifaunística de los bosques de pino de zonas altas (Cabrera, 1995), donde se encuentran especies como *Junco phaenotus*, *Oriturus superciliosus*, *Cyanocitta stelleri*, *Poecile sclateri*, *Peucedramus taeniatus*, *Sitta carolinensis* o *Sialia sialis*.

Respecto a la similitud de especies entre las comunidades de aves de los bosques mixto y de encino, así como su menor similitud con el de oyamel y, por otra parte, del bosque de pino con el pastizal, son resultado de la proximidad geográfica entre estos ambientes y, por consiguiente, de cambios graduales en la estructura física del hábitat (Koleff, 2005), lo que favorece una distribución homogénea de las aves entre ellos. En contraste, la disimilitud entre el bosque mixto y el bosque de pino se puede relacionar con la separación de hábitats en la cuenca y a los cambios en la estructura y composición de la vegetación y de los recursos ofrecidos, lo que afecta la distribución de las especies de aves.

La distribución de las especies endémicas no es muy clara y es posible que los registros en los diferentes tipos de vegetación pueda deberse a un esfuerzo de muestreo desigual, ya que si bien algunas especies cuasiendémicas se registraron en un único tipo de vegetación (*Calothorax lucifer* y *Cocothraustes abeillei* en bosque de encino; *Basileuterus rufifrons* en bosque de oyamel), otras se registraron en todos los tipos de vegetación (*Peucedramus taeniatus*); lo mismo se observó con las especies endémicas (*Streptoprocne semicollaris* y *Campylorhynchus megalopterus* en bosque de oyamel; *Oriturus superciliosus* en bosque de encino, *Xenospiza baileyi* en bosque de pino y el resto de las especies *Ridgwayia pinicola*, *Catharus occidentalis*, *Turdus rufopalliatus*, *Cardellina rubra*, *Arremon virenticeps*, *Atlapetes pileatus*, e *Icterus abeillei*; entre otras, en dos o más tipos de vegetación.

Lo que es claro es que la cuenca del río Magdalena es un sitio biológicamente importante y avifaunísticamente rico; sin embargo,



muestra una continua y creciente perturbación, debido a la urbanización y crecimiento poblacional humano en la Ciudad de México, que demanda la ocupación de nuevas áreas para vivienda y, con ello, bienes y servicios (como agua potable, drenaje, calles, etcétera). La fragmentación del hábitat es una de las principales causas del decremento de poblaciones de aves (Berlanga *et al.*, 2010). A la escala regional del presente trabajo, puede observarse en la zona del Suelo de Conservación Contrerense un escenario de bosques fragmentados por áreas de cultivo, de pastoreo, de poblados, áreas mal llamadas ecoturísticas, entre otras, que afectan de diversas maneras a las especies de aves.

Un paso importante para entender cómo la perturbación ambiental afecta las poblaciones de aves es, en primera instancia, conocer qué especies se presentan en una localidad. Este primer inventario esperamos sea la base para futuros estudios, encargados de implementar programas de manejo, uso y conservación de los recursos naturales de esta zona. Las aves pueden ser un gran atractivo para un verdadero desarrollo ecoturístico, ya que dentro del aprovechamiento no destructivo de los recursos naturales, su observación con fines educativos y recreativos fomenta la conservación de su hábitat y, con ello, la de la fauna y flora en general; bien canalizada, puede generar una derrama económica importante (Cantú *et al.*, 2011). Sin embargo, aún se requieren estudios de mayor plazo, para contar con un inventario completo de la avifauna, conocer certeramente su distribución y comprender mejor de sus interacciones con el ambiente. Una herramienta muy útil para la preservación de especies es, como se ha mencionado, contar con un inventario lo más completo posible de las especies de aves, información que integrada a estudios de vegetación, pueden sentar las bases para la planeación y realización de actividades, como la creación de senderos para observación de aves, la restauración de áreas con mayor diversidad de especies, así como ubicar de manera práctica el hábitat de las especies que se encuentren catalogadas en alguna categoría de riesgo o que sean susceptibles a la perturbación humana, con el fin de proponer los planes de manejo necesarios para su conservación y el uso sustentable de los recursos naturales del Suelo de Conservación Contrerense.

## **Agradecimientos**

Agradecemos al proyecto Censo de Biodiversidad del Suelo de Conservación Contrerense (2005-2006), llevado a cabo a través del Convenio entre la Facultad de Ciencias, UNAM y la Delegación de La Magdalena Contreras de la Ciudad de México, así como al proyecto del Programa de la Universidad Nacional Autónoma de México SDEI-PTID-02, por el apoyo financiero otorgado para la realización del trabajo.

## Referencias

- AOU (American Ornithologists' Union), 1998. *Check-List of North American Birds*. Washington, D.C: Buteo Books.
- Arizmendi, M. del C., Espinosa, A. y Ornelas, J.F., 1994. Las aves del Pedregal de San Ángel. En: A. Rojo, ed. *Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Ecología, historia natural y manejo*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 239-260.
- Berlanga, H., et al., 2010. *Saving our shred birds: Partners in Flight Tri-National Vision for landbird Conservation*. Ithaca, NY: Cornell Lab of Ornithology.
- Brandt-George, P., 2003. Wrens, dippers. En: Baughman, M., ed. *Reference Atlas to the Birds of North America*. National Geographic Society. p. 309-315.
- Cabrera, G.L., 1995. *Ecología comparativa de dos comunidades de aves en un bosque templado del Ajusco medio, Distrito Federal*. Tesis de licenciatura. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cabrera, G.L. y Meléndez, A.H., 1999. Las aves de la región de la montaña sur de la Cuenca de México. En: A. Velásquez y Romero, F.J. eds. *Biodiversidad de la región de montaña del sur de la Cuenca de México: bases para el ordenamiento ecológico*. México: Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco – Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. pp. 111-139.
- Cantú, J.C., Gómez de Silva, H. y Sánchez, M.E., 2011. *El dinero vuela: El valor económico del ecoturismo de observación de aves*. Washington, D.C: Defenders of Wildlife.
- Calderón de Rzedowski, G. y Rzedowski, J., 2001. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. Michoacán, México. 2a Edición: Instituto de Ecología, A.C. y CONABIO.

- Chesser, T., *et al.*, 2015. Fifty-sixth supplement to the American Ornithologists' Union: check-list of North American birds. *The Auk* 132, pp. 748-764.
- Díaz-Francés, E., Soberón, J. y Gorostiza, L. G., 2003. Species of accumulation functions. versión beta. Disponible en: <http://www.cimat.mx>.
- Escalante, P., Sada, A. y Robles, J., 2014. *Listado de nombres comunes de las aves de México*. México. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. (IBUNAM), Sociedad para el Estudio y Conservación de las Aves en México A.C (CIPAMEX).
- Escalante, P., Navarro, A. y Peterson, A.T., 1998. Un análisis geográfico, ecológico e histórico de la diversidad de aves terrestres de México. En: Ramamoorthy, *et al.*, eds. *Diversidad Biológica de México. Orígenes y distribución*. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 279-304.
- Espinosa, D. y Ocegueda, S., 2007. Introducción. En: I., Luna, Morrone, J. y Espinosa, D., eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. México: Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (UNAM- CONABIO). pp. 5-6.
- Howell, S. y Webb, S., 1995. *A guide to the birds of Mexico and Northern Central America*. Nueva York: Oxford University Press.
- INE-CONABIO (Instituto Nacional de Ecología-Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad), 1997. *Guía de Aves Canoras y de Ornato*. México: Instituto Nacional de Ecología - Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca -Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad (INE-SEMARNAP-CONABIO).
- Johnson, K. y Peer, B.D., 2001. Great-tailed Grackle (*Quiscalus mexicanus*). En: A. Poole y Gill, F., eds. *The Birds of North America*, No. 576. Washington, D.C: The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, PA, and The American Ornithologists' Union.
- Johnston, R.F., 1992. Rock Dove. En: A. Poole y Gill, F., eds. *The Birds of North America*, No. 13. Washington, D.C. The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, PA, and The American Ornithologists' Union.

- Kingery, H.E., 1996. American Dipper (*Cinclus mexicanus*). En: A. Poole y Gill, F., eds. *The Birds of North America*, No. 229. Washington, D.C: The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, PA, and The American Ornithologists' Union.
- Koleff, P., 2005. Conceptos y medidas de la diversidad beta. En: G. Halffter, et al., eds. *Sobre diversidad biológica: el significado de las diversidades Alfa, Beta y Gamma*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Sociedad Entomológica Aragonesa, Grupo Diversitas, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Zaragoza, España. pp. 19-35.
- Lazo, I., Anabalón, J. y Segura, A., 1990. Perturbación humana del matorral y su efecto sobre un ensamblaje de aves nidificantes de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural*, 63, pp. 293-297.
- Lowther, P.E. y Cink. C.L., 1992. House Sparrow. En: A. Poole y Gill, F., eds. *The Birds of North America*, No. 12. Washington, D.C: The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, PA, and The American Ornithologists' Union.
- Llorente-Bousquets, J. y Ocegueda, S., 2008. Estado del conocimiento de la biota. En: CONABIO, ed. *Capital natural de México: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. pp. 283-322.
- Ludwig, J.A. y Reynolds, J.F., 1988. *Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing*. Wiley-Interscience Pub., New York.
- Mancera, A.B. y Barragán, J., 2000. Aves presentes en el bosque de San Juan de Aragón. *Vertebrata Mexicana*, 7, pp. 13-19.
- McAleece, N., Lamshead, P. y Paterson, G., 1997. *Biodiversity Professional (Version 2.0)*. Londres: The Natural History Museum & The Scottish Association for Marine Science.
- McCain, C. M. 2009. Global analysis of bird elevational diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 18, pp. 346-360.
- Medina-Macias, M. N., González-Bernal, M. y Navarro-Sigüenza, A., 2010. Distribución altitudinal de las aves en una zona prioritaria en Sinaloa y Durango, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81, pp. 487-503.
- Morrone, J.J., 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista*

- Mexicana de Biodiversidad*, 76(2), pp. 207-252.
- Nava, M., 2003. *Los bosques de la cuenca alta del río Magdalena, D.F., México: un estudio de vegetación y fitodiversidad*. Tesis de licenciatura. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Navarro-Sigüenza, A., G. 1992. Altitudinal distribution of birds in the Sierra Madre del Sur, Guerrero, México. *Condor*, 94(1), pp. 29-39.
- Navarro-Sigüenza, A., *et al.*, 2007. Diversidad, endemismo y conservación de las aves. En: I., Luna, Morrone, J. y Espinosa, D., eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. pp. 461-483.
- Navarro-Sigüenza, A.G., *et al.*, 2013. Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84, DOI:[10.7550/rmb.41882](https://doi.org/10.7550/rmb.41882).
- Nocedal, J., 1984. Estructura y utilización del follaje de las comunidades de pájaros en bosques templados del Valle de México. *Acta Zool. Mex.* (Nueva Serie) 6, 1-45.
- NOM-059-SEMARNAT., 2010. *Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. México: Diario Oficial.
- Parkes, K.C., 1990. Additional records of birds from the Distrito Federal, Mexico, including a possible hybrid *Spizella*. *Condor*, 92(4), 1080-1081.
- PUEC-UNAM (Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad - Universidad Nacional Autónoma de México), 2008. *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena*. Secretaría de Medio Ambiente - Gobierno del Distrito Federal, Universidad Nacional Autónoma de México (SMA-GDF, UNAM).
- PGDUDF (Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal), 2003. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*.
- PGOEDF (Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal), 2000-2003. Gobierno del Distrito Federal/SMA (Secretaría del Medio Ambiente)/CORENA (Comisión de Recursos Naturales y

- Desarrollo Rural)/ Dirección Ejecutiva de Ordenamiento Ecológico.
- Rahbek, C., 2005. The role of spatial scale and the perception of large – scale species – richness patterns. *Ecology Letters*, 8(2), pp. 224-239.
- Ralph, J., et al., 1996. *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres*. Albania: Pacific Southwest Research Station.
- Ramos, M., 1974. *Estudio ecológico de las aves del Pedregal de San Ángel, Distrito Federal, México*. Tesis de licenciatura. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Romdal, T.S. y Rahbek, C., 2009. Elevational zonation of afrotropical forest bird communities along a homogeneous forest gradient. *Journal of Biogeography*, 36(2), pp. 327-336.
- Romero, F.J. y Velázquez, A., 1999. La región de montaña del sur de la Cuenca de México: una revisión de su importancia biológica. En: Velázquez A. y F. J. Romero, eds. *Biodiversidad de la región de montaña del sur de la Cuenca de México: bases para el ordenamiento ecológico*. UAM-X-SEMARNAP, Pp. 40-51.
- Shiu, H.J. y Lee, P.F., 2003. Seasonal variation in bird species richness along elevational gradients in Taiwan. *Acta Zoologica Taiwanica*, 14(1), pp. 1-21.
- Terborgh J., 1977. Bird species diversity on an Andean elevational gradient. *Ecology*, 58(5), pp. 1007-1019.
- Ugalde-Lezama, S., et al., 2010. Riqueza, abundancia y diversidad de aves en un bosque templado con diferentes condiciones de perturbación. *Agrociencia*, 44(2), pp. 159- 169.
- Wilson, R. G. y Ceballos-Lascuráin, H., 1993. *The birds of Mexico City*. Ontario: BBC Printing and Graphics, Ltd., Burlington.
- Xeno-canto Foundation, 2010. Xeno-canto: sharing birds songs from around the world. The University of Chicago. Disponible en: <http://www.xeno-canto.org/> [Consultado en enero 2010]

#### Anexo 1

Anexo 1. Listado de las aves de la cuenca del río Magdalena, comx. Estatus de residencia, endemismo, estatus de conservación, importancia comercial y tipo de vegetación en que se presentaron.

TAXA	Nombre Común	ER	Cons	BE	BO	BP	BM	P
Orden Cymbellales Orden Galliformes Familia Odontophoridae <i>Dendrocygna macroura</i> (Jardine y Selby) <i>Cyrtonyx montezumae</i> (Vigors)	Codorniz-coluda neovolcánica Codorniz Moctezuma	E R	A	x x	x			
Orden Accipitriformes Familia Cathartidae <i>Cathartes aura</i> (Linnaeus)	Zopilote aura	R			x	x		x
Familia Accipitridae <i>Circus cyaneus</i> (Linnaeus) <i>Accipiter striatus</i> Vieillot <i>Accipiter cooperii</i> (Bonaparte) <i>Buteo jamaicensis</i> (Gmelin)	Gavilán rastrero Gavilán pecho rufo Gavilán de Cooper Aguililla cola roja	M M M R	Pr Pr	x x x	x x x	x x		
Orden Columbiformes Familia Columbidae <i>Columba livia</i> Gmelin <i>Columbina inca</i> (Lesson)	Paloma doméstica Tórtola cola larga	R R		x x			x	x
Orden Strigiformes Familia Tytonidae <i>Tyto alba</i> (Scopoli)	Lechuza de campanario	R		x			x	
Familia Strigidae <i>Bubo virginianus</i> (Gmelin)	Búho cornudo	R			x			
Orden Caprimulgiformes Familia Caprimulgidae <i>Antrostomus arizonae</i> (Brewster)	Tapacamino cuerporruín-sureño	R		x				
Orden Apodiformes Familia Apodidae <i>Streptoprocne semicollaris</i> (De Saussure) <i>Chaetura vauxi</i> (Townsend) <i>Aeronautes saxatalis</i> (Woodhouse)	Vencejo nuca blanca Vencejo de Vaux Vencejo pecho blanco	E T R	Pr		x x x	x		
Familia Trochilidae <i>Colibri thalassinus</i> (Swainson) <i>Eugenes fulgens</i> (Swainson) <i>Lampornis clemenciae</i> (Lesson) <i>Calothorax lucifer</i> (Swainson) <i>Selasphorus platycercus</i> (Swainson) <i>Selasphorus rufus</i> (Gmelin) <i>Cyananthus latirostris</i> (Swainson) <i>Amazilia beryllina</i> (Deppe) <i>Hylocharis leucotis</i> (Vieillot)	Colibrí oreja violeta Colibrí magnífico Colibrí garganta azul Colibrí Lucifer Zumbador cola ancha Zumbador rufo Colibrí pico ancho Colibrí berilo Zafiro oreja blanca	R R R CE R M R R R R		x x x x	x x x x	x x	x x x x	x x x x
Orden Trogoniformes Familia Trogonidae <i>Trogon mexicanus</i> (Swainson)	Trogón mexicano	R		x	x			
Orden Piciformes Familia Picidae <i>Melanerpes formicivorus</i> (Swainson) <i>Sphyrapicus varius</i> (Linnaeus) <i>Picoides scalaris</i> (Wagler) <i>Picoides villosus</i> (Linnaeus) <i>Colaptes auratus</i> (Linnaeus)	Carpintero bellotero Chupasavia maculado Carpintero mexicano Carpintero veloso-mayor Carpintero de pechera	R M R R R		x x x x	x x x x	x x	x x	x x x
Orden Falconiformes Familia Falconidae <i>Falco sparverius</i> Linnaeus	Cernícalo americano	M		x	x			x
Orden Passeriformes Familia Tyrannidae <i>Camptostoma imberbe</i> Sclater <i>Mitrephanes phaeocercus</i> (Sclater)	Mosquero lampiño Mosquero copetón	R R		x x	x	x		x

Las abreviaturas corresponden a: Estatus de Residencia (ER): R = Residente, M = Migratoria, T = Transitoria, RV = Residente de verano, A = Accidental, E = Endémica, CE = Cuasiendémica; Estatus de Conservación (Cons): A = Amenazada; Pr = Protección especial; P = Peligro de extinción; IC = Importancia Comercial. Tipo de Vegetación: BE = Bosque de Encino; BO = Bosque de Oyamel; BP = Bosque de Pino; BM = Bosque Mixto; P = Pastizal.

Anexo 1. Listado de las aves de la cuenca del río Magdalena, con: Estatus de residencia, endemismo, estatus de conservación, importancia comercial y tipo de vegetación en que se presentaron.

TAXA	Nombre Común	ER	Cons	BE	BO	BP	BM	P
<i>Contopus cooperi</i> (Nuttall)	Pibi boreal	T			x			
<i>Contopus pertinax</i> Cabanis & Heine	Pibi tengofrío	R		x	x	x	x	x
<i>Contopus sordidulus</i> Sclater	Pibi occidental	RV		x	x			
<i>Empidonax wrightii</i> Baird	Mosquero gris	M		x	x			
<i>Empidonax affinis</i> (Swainson)	Mosquero pinero	R		x	x			x
<i>Empidonax occidentalis</i> Nelson	Mosquero barranqueño	R		x	x			
<i>Empidonax fulvifrons</i> (Giraud)	Mosquero pecho leonado	R		x	x	x	x	
<i>Tyrannus vociferans</i> Swainson	Tirano gritón	R			x			x
<b>Familia Laniidae</b>								
<i>Lanius ludovicianus</i> (Linnaeus)	Alcaudón verdugo	R		x				x
<b>Familia Vireonidae</b>								
<i>Vireo huttoni</i> Cassin	Vireo reyezuelo	R		x	x	x	x	
<i>Vireo gilvus</i> (Vieillot)	Vireo gorjeador	R			x	x		
<b>Familia Corvidae</b>								
<i>Calocitta formosa</i> (Swainson)	Urraca-hermosa cara blanca	R	IC		x			
<i>Cyanocitta stelleri</i> (Gmelin)	Chara crestada	R		x	x	x	x	x
<i>Aphelocoma ultramarina</i> (Bonaparte)	Chara pecho gris	R	IC		x	x		
<i>Corvus corax</i> Linnaeus	Cuervo común	R	IC		x			
<b>Familia Hirundinidae</b>								
<i>Tachycineta thalassina</i> (Swainson)	Golondrina verdemar	R		x	x	x	x	x
<i>Hirundo rustica</i> Linnaeus	Golondrina tijereta	R		x	x			x
<b>Familia Paridae</b>								
<i>Poecile sclateri</i> (Kleinschmidt)	Carbonero mexicano	R		x	x	x	x	x
<b>Familia Aegithalidae</b>								
<i>Psaltriparus minimus</i> (Townsend)	Sastrecillo	R		x	x	x	x	x
<b>Familia Sittidae</b>								
<i>Sitta carolinensis</i> Latham	Sita pecho blanco	R		x	x	x	x	x
<i>Sitta pygmaea</i> Vigors	Sita enana	R			x	x		x
<b>Familia Certhiidae</b>								
<i>Certhia americana</i> Bonaparte	Trepador americano	R		x	x	x	x	x
<b>Familia Troglodytidae</b>								
<i>Catherpes mexicanus</i> (Swainson)	Chivirín barranqueño	R		x	x			
<i>Troglodytes aedon</i> Vieillot	Chivirín saltapared	R		x	x	x	x	x
<i>Thryomanes bewickii</i> (Audubon)	Chivirín cola oscura	R		x	x		x	x
<i>Campylorhynchus megalopterus</i> Lafresnaye	Matraca barrada	E			x			
<b>Familia Polioptilidae</b>								
<i>Polioptila caerulea</i> (Linnaeus)	Perlita azulgrís	M		x	x		x	
<b>Familia Cinclidae</b>								
<i>Cinclus mexicanus</i> Swainson	Mirlo-acuático norteamericano	R	Pr	x	x	x	x	x
<b>Familia Regulidae</b>								
<i>Regulus satrapa</i> Lichtenstein	Reyezuelo de oro	R		x	x	x	x	x
<i>Regulus calendula</i> (Linnaeus)	Reyezuelo de rojo	M		x	x	x	x	x
<b>Familia Turdidae</b>								
<i>Sialia sialis</i> (Linnaeus)	Azulejo garganta canela	R	IC		x	x		x
<i>Sialia mexicana</i> (Swainson)	Azulejo garganta azul	R	IC	x	x	x		x
<i>Myadestes occidentalis</i> Stejneger	Clarín jilguero	R	Pr, IC	x	x		x	x
<i>Catharus aurantirostris</i> (Hartlaub)	Zorzal pico naranja	R		x			x	
<i>Catharus occidentalis</i> Sclater	Zorzal mexicano	E		x	x	x		x
<i>Catharus guttatus</i> (Pallas)	Zorzal cola rufa	M		x	x		x	x
<i>Turdus assimilis</i> Cabanis	Mirlo garganta blanca	R		x	x	x	x	x
<i>Turdus rufopalliatu</i> Lafresnaye	Mirlo dorso rufo	E	IC	x	x	x	x	x
<i>Turdus migratorius</i> Linnaeus	Mirlo primavera	R		x	x	x	x	x
<i>Ridgwayia pinicola</i> (Sclater)	Mirlo pinto	E	Pr			x		x
<b>Familia Mimidae</b>								
<i>Toxostoma curvirostre</i> (Swainson)	Cuitlacoche pico curvo	R	IC	x	x			

Las abreviaturas corresponden a: Estatus de Residencia (ER): R = Residente, M = Migratoria, T = Transitoria, RV = Residente de verano, A = Accidental, E = Endémica, CE = Cuasiendémica; Estatus de Conservación (Cons): A= Amenazada; Pr = Protección especial; P = Peligro de extinción; IC = Importancia Comercial. Tipo de Vegetación: BE = Bosque de Encino; BO = Bosque de Oyamel; BP = Bosque de Pino; BM = Bosque Mixto; P = Pastizal.



Anexo 1. Listado de las aves de la cuenca del río Magdalena, com. Estatus de residencia, endemismo, estatus de conservación, importancia comercial y tipo de vegetación en que se presentaron.

TAXA	Nombre Común	ER	Cons	BE	BO	BP	BM	P
<b>Familia Bombycillidae</b>								
<i>Bombycilla cedrorum</i> Vieillot	Ampelis chinito	M		x	x			
<b>Familia Ptilionotidae</b>								
<i>Ptilionotus cinereus</i> Swainson	Capulnero gris	R	IC	x	x	x	x	x
<b>Familia Peucedramidae</b>								
<i>Peucedramus taeniatus</i> (Du Bus De Gisignies)	Ocotero enmascarado	CE		x	x	x	x	x
<b>Familia Parulidae</b>								
<i>Mniotilta varia</i> (Linnaeus)	Chipe trepador	M		x	x		x	
<i>Oreothlypis superciliosa</i> (Hartlaub)	Parula ceja blanca	R		x	x	x	x	x
<i>Oreothlypis celata</i> (Say)	Chipe corona naranja	M		x	x			
<i>Oreothlypis ruficapilla</i> (Wilson)	Chipe de coronilla	M			x			
<i>Geothlypis tolmiei</i> (Townsend)	Chipe de Tolmie	M	A	x			x	
<i>Setophaga tigrina</i> (Gmelin)	Chipe atigrado	A		x			x	
<i>Setophaga fusca</i> (Miller)	Chipe garganta naranja	M		x			x	
<i>Setophaga coronata</i> (Linnaeus)	Chipe coronado	M		x	x	x	x	x
<i>Setophaga nigrescens</i> (Townsend)	Chipe negrogris	M				x		
<i>Setophaga townsendi</i> (Townsend)	Chipe negroamarillo	M		x	x		x	x
<i>Setophaga occidentalis</i> (Townsend)	Chipe cabeza amarilla	M		x			x	
<i>Setophaga virens</i> (Gmelin)	Chipe dorso verde	M			x			
<i>Basileuterus rufifrons</i> (Swainson)	Chipe gorra rufa	CE	IC		x			
<i>Basileuterus belli</i> (Giraud)	Chipe ceja dorada	R		x	x		x	
<i>Cardellina pusilla</i> (Wilson)	Chipe corona negra	M		x	x		x	x
<i>Cardellina rubra</i> (Swainson)	Chipe rojo	E		x	x	x	x	x
<i>Myioborus pictus</i> (Swainson)	Chipe ala blanca	R		x	x	x	x	x
<i>Myioborus miniatus</i> (Swainson)	Chipe de montaña	R		x	x	x	x	x
<b>Familia Emberizidae</b>								
<i>Diglossa baritula</i> Wagler	Picafior canelo	R		x				
<i>Arremon virenticeps</i> Bonaparte	Atlapetes rayas verdes	E		x	x		x	x
<i>Atlapetes pileatus</i> Wagler	Atlapetes gorra rufa	E		x	x	x		x
<i>Pipilo ocai</i> (Lawrence)	Toqui de collar	E				x		x
<i>Pipilo erythrophthalmus</i> (Linnaeus)	Rascador ojorjo	R		x		x		
<i>Pipilo maculatus</i> (Swainson)	Toqui pinto	R	IC	x	x	x		x
<i>Aimophila ruficeps</i> (Cassin)	Zacatonero corona rufa	R		x	x	x		
<i>Melospiza kieneri</i> (Bonaparte)	Rascador nuca rufa	E		x	x		x	x
<i>Melospiza fusca</i> (Swainson)	Toqui pardo	R		x	x	x	x	x
<i>Oriturus superciliosus</i> (Swainson)	Zacatonero rayado	E		x				
<i>Spizella passerina</i> (Bechstein)	Gorrion ceja blanca	R		x	x		x	x
<i>Spizella atrogularis</i> (Cabanis)	Gorrion barba negra	R	IC	x	x	x		x
<i>Chondestes grammacus</i> (Say)	Gorrion arlequin	M	P	x		x		x
<i>Xenospiza baileyi</i> Bangs	Gorrion serrano	E		x		x		
<i>Melospiza melodia</i> (Wilson)	Gorrion cantor	R		x	x	x		x
<i>Junco phaeonotus</i> Wagler	Junco ojo de lumbre	R			x	x		
<b>Familia Cardinalidae</b>								
<i>Piranga flava</i> (Vieillot)	Tángara encinera	R		x			x	
<i>Piranga rubra</i> (Linnaeus)	Tángara roja	M	IC	x			x	
<i>Piranga ludoviciana</i> (Wilson)	Tángara capucha roja	M		x				x
<i>Pheucticus melanocephalus</i> (Swainson)	Picogordo tigrillo	R	IC	x	x	x	x	x
<b>Familia Icteridae</b>								
<i>Sturnella magna</i> (Linnaeus)	Pradero tortilla con chile	R				x		x
<i>Quiscalus mexicanus</i> (Gmelin)	Zanate mexicano	R	IC	x	x	x		x
<i>Molothrus aeneus</i> (Wagler)	Tordo ojo rojo	R	IC	x	x		x	x
<i>Icterus abeillei</i> (Lesson)	Calandria norteña	E	IC	x		x	x	x
<b>Familia Fringillidae</b>								
<i>Euphonia elegantissima</i> (Bonaparte)	Eufonia capucha azul	R	IC	x				x
<i>Haemorhous mexicanus</i> (Möller)	Pinzón mexicano	R	IC	x			x	x
<i>Loxia curvirostra</i> Linnaeus	Picotuerto rojo	R		x	x	x		x
<i>Spinus pinus</i> (Wilson)	Jilguero pino	R	IC	x	x	x	x	x
<i>Spinus psaltria</i> (Say)	Jilguero dominico	R	IC	x	x	x	x	x
<i>Coccothraustes abeillei</i> (Lesson)	Picogrueso encapuchado	CE		x				
<i>Coccothraustes vespertinus</i> (Cooper)	Picogrueso norteño	R			x			
<b>Familia Passeridae</b>								
<i>Passer domesticus</i> (Linnaeus)	Gorrion casero	R	IC	x	x		x	x

Las abreviaturas corresponden a: Estatus de Residencia (ER): R = Residente, M = Migratoria, T = Transitoria, RV = Residente de verano, A = Accidental, E = Endémica, CE = Cuasiendémica; Estatus de Conservación (Cons): A= Amenazada; Pr = Protección especial; P = Peligro de extinción; IC = Importancia Comercial. Tipo de Vegetación: BE = Bosque de Encino; BO = Bosque de Oyamel; BP = Bosque de Pino; BM = Bosque Mixto; P = Pastizal.

<sup>1</sup> Museo de Zoología, Programa Académico de Biología, Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit. Km 9, Carretera Tepic-Compostela, C.P. 63780, Xalisco, Nayarit, México.

<sup>2</sup> Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera”, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

\*Correo electrónico autor de correspondencia: [fernandopuebla@hotmail.com](mailto:fernandopuebla@hotmail.com)

## MAMÍFEROS SILVESTRES DEL SUELO DE CONSERVACIÓN CONTRERENSE

*Yire A. Gómez Jiménez<sup>1\*</sup>, Héctor Olguín Monroy<sup>1</sup> y Livia León-Paniagua<sup>1</sup>*

### Introducción

El aumento desmedido de la población humana en la Ciudad de México (CDMX), ha tenido como consecuencia el incremento de los asentamientos humanos. Con ello, ha aumentado la práctica de actividades (agricultura, ganadería, explotación forestal, cacería, introducción de especies exóticas, entre otras), que traen como consecuencia el desplazamiento o incluso la extinción de especies, la fragmentación y la pérdida, cada vez mayor, de áreas que albergan flora y fauna silvestres (Ceballos y Galindo, 1984; Navarro-Frías *et al.*, 2007), lo que provoca cambios drásticos en la diversidad, que propician un proceso de “sucesión”, entre los ensambles de especies y las comunidades.

El territorio de la CDMX. se divide, para fines prácticos, en urbano y de conservación ecológica (Valdez, 2007). Al sur de la CDMX. se concentra el 98.6% del Suelo de Conservación (87 204 ha.; Ávila-Akerberg, 2004; Lindoro, 2007), el cual forma parte de las delegaciones: Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Iztapalapa, La Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco. El resto del Suelo de Conservación (1.4%), se localiza al norte de la CDMX. y corresponde 1 238 ha en la Delegación Gustavo A. Madero. La región conocida como Suelo de Conservación Contrerense (SCC) se ubica al sur de la Ciudad de México y abarca El Cañón Contreras o Los Dinamos, las partes altas de la cañada, el Parque San Nicolás Totolapan y la cuenca alta del río Magdalena 78% de la cual corresponde a la delegación La Magdalena Contreras, mientras que en los parajes más altos forman parte de las delegaciones Álvaro Obregón (5%) y Cuajimalpa (17%).

Desde el punto de vista biogeográfico el SCC forma parte de la Faja Volcánica Transmexicana, dentro de la cuenca de México en la vertiente occidental de la Sierra de las Cruces y en la región que continúa a la Sierra del Chichinautzin, y que constituye el parteaguas de esta cuenca con la del

Balsas, ubicada entre los paralelos 19°14'35'' y 19°17'53'' de latitud norte y los meridianos 99°15'06'' y 99°20'18'' de longitud oeste con un intervalo altitudinal de los 2 570 a los 3 850 metros sobre el nivel del mar (Ávila-Akerberg, 2002; Jujnovsky, 2003). Por esta razón, se considera una región de gran importancia, ya que es el punto de contacto y transición de faunas del norte y del sur, y alberga una gran diversidad de mamíferos (Luis-Martínez y Llorente-Bousquets, 1990; Najera *et al.* 2006).

El conocimiento que se tiene hasta el momento de la riqueza mastofaunística en el SCC es parcial, pues se cuenta con tan sólo algunos registros en el área de estudio (Villa Ramírez, 1953; Ceballos y Galindo, 1984; Hortelano-Moncada y Cervantes. 2011), además de estudios puntuales en otros sitios del Suelo de Conservación de la CDMX. (Aranda *et al.*, 1980; Galindo, 1988; Sánchez *et al.*, 1989). Es por ello que el objetivo central de este trabajo es conocer la composición mastofaunística del SCC, así como proporcionar información biológica de las especies, que contribuya para su futuro manejo y conservación.

## **Métodos**

Para la realización del presente trabajo, se hicieron diversas salidas al área de estudio durante el periodo de enero del 2006 a noviembre del 2007, con lo que se abarcaron las diferentes estaciones del año y las principales comunidades o asociaciones vegetales (Tabla 1; Figura 1). Además, con la intención de complementar los datos obtenidos en campo, se llevo a cabo una recopilación de información publicada sobre los mamíferos registrados en el SCC, y su área de influencia (Ceballos y Galindo, 1984; Ceballos y Oliva, 2005). Así como consultas a la Colección de Mamíferos del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias (M-MZFC), UNAM; Colección Nacional de Mamíferos (CNMA) del Instituto de Biología, UNAM; Colección de Mamíferos de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-I); Colección Mastozoológica de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB), IPN y la base de datos de los mamíferos de México depositados en Colecciones de Estados Unidos y Canadá (López-Wilchis, 2003).

**Tabla 1**

Tabla1. Localidades por tipo de vegetación en el Suelo de Conservación Contrerense, CDMX (elaboración propia).

Bosque de Pino ( <i>Pinus hartwegii</i> )				
Número	Sitio de muestreo	Ubicación Geográfica (UTM)		Altitud (msnm)
1	Cerca de Cieneguillas	466613	2127840	3 427
2	El Campo	465592	2129870	3 619
3	Valle Tezontle	470147	2124824	3 468
4	La Pileta	470012	2124782	3 439
5	Cerca de La Pileta	470018	2125064	3 461
6	Cuadrante 3	466466	2128072	3 393
7	Invernaderos (San Nicolás)	474332	2129537	2 846
8	Cabeza de Toro	468513	2132908	3 514
9	Colica y Coloxtila	468084	2131193	3 507
10	El Mirador	468087	2130947	3 533
11	Cerro San Miguel	466535	2130180	3 704
Bosque de Abetos ( <i>Abies religiosa</i> )				
12	El Jarillal	468865	2129877	3 167
13	Segundo Dinamo	469901	2131634	2 932
14	Cañada Cerro Panza	469544	2125531	3 513
15	Los Túneles	468541	2128989	3 386
16	Cuadrante 2	466628	2129205	3 481
17	Cerca del Truchero Arcoiris	468617	2129457	3 327
18	Entre Tercer y Cuarto Dinamo	469914	2130405	3 001
19	Cuarto Dinamo (rumbo a la Coconetla)	468427	2130243	3 153
20	Cuarto Dinamo	469183	2130324	3 083
21	Cerca del Cerro Panza	469487	2125395	3 562
22	San Nicolás del Pedregal	473638	2128019	2 993
Bosque de Encino ( <i>Quercus</i> )				
23	Planta Potabilizadora	472201	2132600	2 684
24	Cuadrante 1	471628	2132342	2 709
25	Primer Dinamo	473245	2133439	2 556
26	Cerca del Segundo Dinamo	471968	2132512	2 729

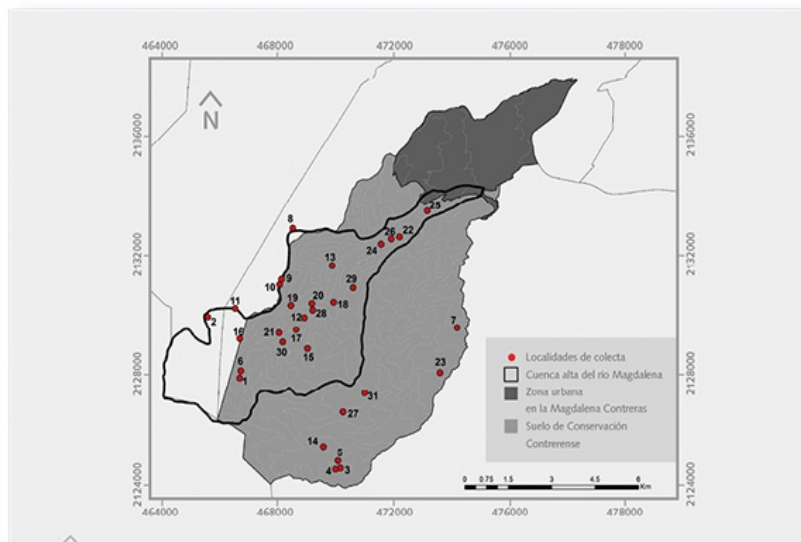


Figura 1. Localidades de colecta, Suelo de Conservación Contrerense, CDMX. Los puntos a partir del número 27 corresponden a localidades de literatura y siguen en el orden que se menciona a continuación (Monte Alegre, 2.5 Km SW Contreras, 24 Km Ciudad de México, 4 Km SW Contreras, 4.5 Km S Contreras). (Elaboración propia).

**Figura 1**

La recolección se llevó a cabo por métodos convencionales, esencialmente trampas tipo *pitfall* para la captura de musarañas. Para

murciélagos se utilizaron redes de niebla (Mist Net). En el caso de los roedores se emplearon trampas tipo Sherman utilizando avena como cebo. En cuanto a los mamíferos de talla mediana se recurrió principalmente a técnicas de registro indirecto como huellas y otros rastros que se identificaron con la guía de Aranda (2000); además, se colocaron trampas tipo Tomahawk, empleando cebos de olores fuertes como atún y sardinas. Cabe mencionar que estas técnicas se aplicaron en las diferentes comunidades vegetales. Los ejemplares fueron preparados con los métodos estándares (Hall, 1981), y se depositaron en la Colección Mastozoológica del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias, UNAM (M-MZFC). La determinación taxonómica de los ejemplares se realizó de acuerdo con Hall (1981) y Medellín *et al.* (1997).

Finalmente se elaboró la lista anotada de los mamíferos presentes en el SCC, que incluye el nombre científico y el común de la especie, así como las localidades donde se registraron y algunos comentarios sobre su biología. Para esto, se utilizó el arreglo taxonómico y nomenclatural propuesto por Ramírez-Pulido *et al.* (2014). Los nombres comunes para los mamíferos terrestres se tomaron de Villa-Ramírez y Cervantes (2003) y para los murciélagos, se tomaron los propuestos por Medellín *et al.* (1997). Los comentarios fueron realizados a partir del trabajo en campo y con información de Ceballos y Galindo (1984); Villa-Ramírez y Cervantes (2003) y Ceballos y Oliva (2005).

## **Resultados**

### ***Composición taxonómica***

En la zona del SCC se obtuvo un total de 143 registros que corresponden a 37 especies, agrupadas en 28 géneros, 16 familias y ocho órdenes (Tabla 2). Del total de especies registradas para el SCC, el 83.8% son especies terrestres mientras que el 16.2% son voladoras. Los órdenes con mayor riqueza fueron Rodentia con 17 especies, seguida de Carnívora con siete, Chiroptera con seis, Soricomorpha y Lagomorpha con dos y, finalmente, Didelphimorphia, Cingulata y Artiodactyla con una especie cada una. El número de especies reconocido para el SCC representa aproximadamente el 48.6% de las especies registradas para el D. F. y un 42.5% para la cuenca de México (Ceballos y Galindo, 1984), mientras que para México, el SCC representa el 7.78% del total de especies (Ramírez-Pulido *et al.*,

1996; 2000; 2005; 2014).

**Tabla 2**

Tabla 2. Listado sistemático de los mamíferos en el Suelo de Conservación Contrerense, CDMX (elaboración propia).

CATEGORÍA TAXONÓMICA	EENDEMISMO	NOM	IUCN
ORDEN DIDELPHIMORPHIA FAMILIA DIDELPHIDAE <i>Didelphis virginiana</i> (Kerr, 1792)			LC
ORDEN CINGULATA FAMILIA DASYPODIDAE <i>Dasyopus novemcinctus</i> (Linnaeus, 1758)			LC
ORDEN SORICOMORPHA FAMILIA SORICIDAE <i>Cryptotis salticola</i> (Merriam, 1895) <i>Sorex saussurei</i> (Merriam, 1892)	En	Pr	DD LC
ORDEN CHIROPTERA FAMILIA PHYLLOSTOMIDAE <i>Anoura geoffroyi</i> (Gray, 1838) <i>Choeronycteris mexicana</i> (Tschudi, 1844) <i>Dermanura azteca</i> (Andersen, 1906) FAMILIA VESPERTILIONIDAE <i>Myotis californicus</i> (Audubon & Bachman, 1842) <i>Corynorhinus mexicanus</i> (G. M. Allen, 1916) <i>Lasiurus cinereus</i> (Palisot de Beauvois, 1796)		A	LC NT LC LC NT LC
ORDEN CARNIVORA FAMILIA CANIDAE <i>Urocyon cinereoargenteus</i> (Schreber, 1775) <i>Canis latrans</i> (Say, 1823) FAMILIA FELIDAE <i>Lynx rufus</i> (Schreber, 1777) FAMILIA MUSTELIDAE <i>Mustela frenata</i> (Lichtenstein, 1831) FAMILIA MEPHITIDAE <i>Mephitis macroura</i> (Lichtenstein, 1832) FAMILIA PROCYONIDAE <i>Bassariscus astutus</i> (Lichtenstein, 1830) <i>Procyon lotor</i> (Linneo, 1758)			LC LC LC LC LC LC LC
ORDEN ARTIODACTYLA FAMILIA CERVIDAE <i>Odocoileus virginianus</i> (Zimmermann, 1780)			LC
ORDEN RODENTIA FAMILIA SCIURIDAE <i>Otospermophilus variegatus</i> (Erleben, 1777) <i>Sciurus aureogaster</i> (F. Cuvier, 1829) FAMILIA GEOMYIDAE <i>Cratogeomys merriami</i> (Thomas, 1893) <i>Thomomys umbrinus</i> (Richardson, 1829) FAMILIA HETEROMYIDAE <i>Heteromys irroratus</i> (Gray, 1868) FAMILIA CRICETIDAE <i>Microtus mexicanus</i> (de Saussure, 1861) <i>Neotoma mexicana</i> (Baird, 1855) <i>Neotomodon alstoni</i> (Merriam, 1898) <i>Peromyscus difficilis</i> (J. A. Allen, 1891) <i>Peromyscus levipes</i> (Merriam, 1898) <i>Peromyscus maniculatus</i> (Wagner, 1845) <i>Peromyscus melanotis</i> (J. A. Allen & Chapman, 1897) <i>Reithrodontomys fulvescens</i> (J. A. Allen, 1894) <i>Reithrodontomys megalotis</i> (Baird, 1857) <i>Reithrodontomys chrysopsis</i> (Merriam, 1900) <i>Reithrodontomys microdon</i> (Merriam, 1901) <i>Reithrodontomys sumichrasti</i> (de Saussure, 1861)	En En En En En En En En En En En		LC LC LC LC LC LC LC LC LC LC LC LC LC LC
ORDEN LAGOMORPHA FAMILIA LEPORIDAE <i>Sylvilagus cunicularius</i> (Waterhouse, 1848) <i>Sylvilagus floridanus</i> (J. A. Allen, 1890)	En		LC LC

Endemismo (En).  
Estado de conservación que otorga la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, a través de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).  
A = Especie amenazada y Pr = Especie sujeta a protección especial.  
Categorización que concede la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2012). Lc = preocupación menor;  
nt = casi amenazadas y dd = Datos insuficientes.

En cuanto a endemismos, la musaraña (*Cryptotis alticola*), el

murciélago-mula mexicano (*Corynorhinus mexicanus*), la tuza (*Cratogeomys merriami*), el ratón de los volcanes (*Neotomodon alstoni*), el ratón orejudo del pedregal (*Peromyscus difficilis*), el ratón de campo (*P. levipes*), el ratón montañoso (*P. melanotis*), el ratón dorado (*Reithrodontomys chrysopsis*) y el conejo mexicano (*Sylvilagus cunicularius*) son endémicos de México y constituyen el 24.3% de las especies registradas en el SCC y un 1.4% de las especies reconocidas para México. De los registros de ocurrencia por tipo de vegetación (143 en total), el mayor número corresponde al bosque de *Pinus hartwegii* con 65 registros correspondientes a 27 especies, seguido por el bosque de *Abies religiosa* con 63 registros de 22 especies y para el bosque de *Quercus spp.* se obtuvo información de 11 registros de 11 especies (Tabla 3).

**Tabla 3**

Tabla 3. Número de especies por tipo de vegetación en el Suelo de Conservación Contrerense, CDMX (elaboración propia).

Orden	<i>Pinus hartwegii</i>	<i>Abies religiosa</i>	<i>Quercus</i>
Didelphimorphia	1	1	1
Cingulata	0	1	0
Soricomorpha	2	1	0
Chiroptera	6	2	1
Carnivora	4	5	2
Artiodactyla	0	1	0
Rodentia	13	10	6
Lagomorpha	1	1	1
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>22</b>	<b>11</b>

## Lista anotada

### *Didelphis virginiana* Kerr, 1792 “tlacuache”

**Localidades:** Cerca de Cieneguillas; El Jarillal; Primer, Segundo y Cuarto Dinamo

**Comentarios:** El tlacuache es el único marsupial que se encuentra en el SCC. Son animales nocturnos muy comunes en el área, ya que han logrado sobrevivir gracias a su alimentación generalista y a su tolerancia al hombre.

### *Dasyus novemcinctus* Linnaeus, 1758 “armadillo de nueve bandas”

**Localidades:** Cuarto Dinamo rumbo a la Coconetla.



**Comentarios:** El armadillo es un animal que se caracteriza por presentar un caparazón y patas con grandes garras que le permiten excavar. Son de hábitos nocturnos, tímidos y solitarios. Durante el día permanecen en su madriguera, y por las noches salen para alimentarse primordialmente de insectos, aunque también comen pequeños anfibios, reptiles, huevos y carroña. Aunque en el SCC solo se encontraron los restos del caparazón de un ejemplar, los lugareños aseguran su presencia dentro del área.

***Cryptotis alticola (Merriam, 1895) “musaraña”***

**Localidades:** Cabeza de Toro.

**Comentarios:** Es una especie endémica de México, tienen una nariz larga y puntiaguda, muy característica; tiene los ojos muy reducidos y las orejas no son visibles. Su actividad es tanto diurna como nocturna y basa su alimentación en insectos y otros invertebrados como lombrices de tierra. Sólo se obtuvo el registro de dos ejemplares ubicados en el bosque de pino.

***Sorex saussurei Merriam, 1892 “musaraña de Saussure”***

**Localidades:** La Pileta, Cuadrante 2, Cabeza de Toro, Colica y Coloxtitla, El Mirador.

**Comentarios:** Esta musaraña es de tamaño mediano a grande y, aunque se conoce poco de su biología, se sabe que su alimentación es insectívora y al igual que otras musarañas son animales muy activos, por lo que tienen que consumir una gran cantidad de alimento a pesar de su pequeño tamaño. En el área de estudio esta especie se registró tanto en bosque de pino como de abetos y se puede distinguir de *C. alticola* sobre todo por el tamaño, ya que *Sorex* es de mayor talla, además de que sus orejas son visibles.

***Anoura geoffroyi Gray, 1838 “murciélago-rabón de Geoffroy”***

**Localidades:** 32 Km SW Ciudad de México.

**Comentarios:** Es un murciélago de tamaño mediano de hábitos alimentarios facultativos, lo que significa que depende de la disponibilidad y abundancia de los alimentos, dentro de los cuales están el polen, el néctar y algunos insectos. Algunas características de esta especie son el hocico alargado y la hoja nasal pequeña.

***Choeronycteris mexicana Tschudi, 1844 “murciélago trompudo”***

**Localidades:** 32 km SW Ciudad de México.

**Comentarios:** Murciélago que se alimenta de néctar, polen y pulpa de fruta, por lo que se considera una especie importante en el SCC, pues interviene en la polinización de algunas plantas. Se caracteriza por su hocico muy largo, su hoja nasal pequeña y presencia de cola, la cual lo diferencia del murciélago-rabón de Geoffroy.

***Dermanura azteca Andersen, 1906 “murciélago-frutero azteca”***

**Localidades:** 32 km SW Ciudad de México.

**Comentarios:** Es un murciélago pequeño, con una hoja nasal bien desarrollada. Aunque carece de cola, se puede distinguir de los otros murciélagos con hoja nasal en el SCC, ya que su hocico es muy corto y ancho. Esta especie se alimenta de frutos, por lo que se considera un importante dispersor de semillas.

***Myotis californicus (Audubon y Bachman, 1842) “murcielaguito orejudo de California”***

**Localidades:** Cuarto Dinamo.

**Comentarios:** Es la especie más pequeña de murciélago recolectado en el SCC y se trata de un macho adulto, asociado al bosque de abetos, estos murciélagos son insectívoros que se alimentan principalmente de polillas y moscas. Su mayor actividad se desarrolla durante el crepúsculo, y suelen refugiarse en lugares con grietas, como puentes, rocas o árboles.

***Corynorhinus mexicanus G. M. Allen, 1916 “murciélago-mula mexicano”***

**Localidades:** Los Túneles, Valle Tezontle, 32 Km SW Ciudad de México.

**Comentarios:** De esta especie se recolectaron tres ejemplares adultos asociados al bosque de abetos y uno más en bosque de pino. Los murciélagos de esta especie se caracterizan por sus grandes orejas, son de hábitos nocturnos y se alimentan de insectos. Son de gran importancia en el ecosistema ya que ayudan a mantener bajas las poblaciones de insectos que pueden considerarse como plaga.

***Lasiurus cinereus (Beauvois, 1796) “murciélago canoso de cola peluda”***

**Localidades:** La Pileta, Planta Potabilizadora, Primer Dinamo.

**Comentarios:** Murciélago insectívoro que habita típicamente en el follaje

de los árboles, esta especie es fácil de identificar ya que una de sus características es su pelaje oscuro salpicado de plateado lo que le confiere un efecto canoso. En el SCC este murciélago fue el más común en los bosques de pino y encino.

***Canis latrans* Say, 1823 “coyote”**

**Localidades:** El Campo, El Mirador.

**Comentarios:** Esta especie se registró de manera indirecta por rastros o huellas en el bosque de pino. El coyote es uno de los mamíferos silvestres más grandes en la Ciudad de México y aunque es un animal oportunista, se ve afectado no sólo por la gran pérdida de hábitat en el SCC y la cercanía de los asentamientos humanos, sino que además tiene que competir por los recursos con los perros ferales que viven en la zona.

***Urocyon cinereoargenteus* (Schreber, 1775) “zorra gris”**

**Localidades:** San Nicolás del Pedregal.

**Comentarios:** La zorra gris es un carnívoro solitario de hábitos nocturnos y oportunista que, al igual que el coyote, se ha visto afectado principalmente por la actividad humana dentro de la zona, por lo que esta especie se considera poco abundante. Se tiene registro debido a que los pobladores atraparon un individuo.

***Lynx rufus* (Schreber, 1777) “gato montés”**

**Localidades:** El Campo, Cañada Cerro Panza, El Mirador.

**Comentarios:** En un felino de tamaño mediano que se registró mediante huellas y excretas en el bosque de pino y abetos. Una de las principales características del gato montés es la cola muy corta, así como manchas negras que presenta en la punta y en las orejas. Aunque son animales capaces de soportar cierto grado de alteración en sus hábitats y tolerar hasta cierto punto las actividades humanas, se han visto diezmados por la pérdida de su hábitat.

***Mustela frenata* Lichtenstein, 1831 “comadreja”**

**Localidades:** Cuadrante 2, Cerca del Segundo Dinamo y Segundo Dinamo.

**Comentarios:** Las comadrejas son animales de cuerpo largo y esbelto, piernas cortas y una cola peluda, casi tan larga como el resto del cuerpo

del animal. Son exclusivamente carnívoras y son buenas cazadoras de ratas y ratones de campo, por lo que constituyen un importante factor en el control de las poblaciones. Aunque no se recolectó ningún ejemplar, el registro de esta especie se dio gracias a la observación de algunos individuos en el bosque de pino y encino.

***Mephitis macroura Lichtenstein, 1832 “zorrillo encapuchado”***

**Localidades:** La Pileta.

**Comentarios:** Los zorrillos son animales que usualmente se refugian durante el día y están activos en las noches. Aunque están dentro del orden de los carnívoros suelen alimentarse de insectos y plantas. Uno de sus principales rasgos es el característico olor que segregan sus glándulas anales. Esta especie de zorrillo es común en el SCC.

***Bassariscus astutus (Lichtenstein, 1830) “cacomixtle”***

**Localidades:** Entre Tercer y Cuarto Dinamo, Cuarto Dinamo, El Jarillal, Invernaderos (San Nicolás) y Cuadrante 1.

**Comentarios:** Son animales que se observan con frecuencia en el SCC durante la noche, son del tamaño de un gato doméstico, cuya principal característica es que tienen una cola larga y peluda con anillos blancos y negros intercalados. Son omnívoros de hábitos nocturnos e importantes en el control de pequeños vertebrados.

***Procyon lotor (Linneo, 1758) “mapache, osito lavador”***

**Localidades:** El Jarillal, Cuarto Dinamo, cerca del Truchero Arcoíris.

**Comentarios:** Los mapaches son animales de hábitos crepusculares y nocturnos con una alimentación omnívora, y que suelen vivir en una gran variedad de hábitats, siempre y cuando existan cuerpos de agua cercanos. Aunque estos animales solo se registraron mediante rastros, los pobladores nos comentaron que se podían observar con cierta frecuencia en el Cuarto Dinamo.

***Odocoileus virginianus (Zimmermann, 1780) “venado cola blanca”***

**Localidades:** Cerca del truchero Arcoíris, Cañada Cerro Panza.

**Comentarios:** Esta especie fue registrada para el SCC gracias al reconocimiento de sus rastros, así como por comentarios de pobladores de la zona. Este animal se caracteriza porque presenta un mechón de pelos

blancos en la base de la cola. Se alimentan de hojas, frutos, arbustos y porciones de material vegetal de origen leñosos de árboles y arbustos. Los venados son capaces de tolerar y adaptarse a las actividades humanas, siempre y cuando exista un hábitat que le brinde agua, alimento y cobertura en cantidad y calidad suficiente.

***Sciurus aureogaster* Cuvier, 1829 “ardilla gris”**

**Localidades:** Cuadrante 1 y 2, Segundo Dinamo, Cerca del Cerro Panza, Colica y Coloxtitla.

**Comentarios:** *S. aureogaster* es una ardilla grande, de hábitos diurnos y casi exclusivamente arborícolas. Su alimentación se basa en conos, brotes, semillas y frutas, incluso insectos, huevos y polluelos de aves. El registro de esta especie se dio a lo largo del estudio ya que se pudieron observar varios ejemplares distribuidos en los distintos tipos de vegetación.

***Otospermophilus variegatus* (Erxleben, 1777) “ardillón”**

**Localidades:** Invernaderos (San Nicolás).

**Comentarios:** El ardillón es un animal terrestre, de hábitos diurnos, vive principalmente en terrenos rocosos, su alimentación se basa principalmente de plantas e insectos, aunque suelen ser oportunistas por lo que consumen una gran variedad de frutos y semillas, además de desperdicios dejados por el hombre, como restos de comida. En el SCC el ardillón fue observado cerca de zonas rocosas.

***Cratogeomys merriami* (Thomas, 1893) “tuza”**

**Localidades:** Cerró San Miguel, Monte Alegre.

**Comentarios:** Son animales de cuerpo robusto, con patas cortas provistas de grandes garras, de hábitos cavadores, se alimentan principalmente de bulbos y semillas que están bajo la tierra. En ocasiones pueden llegar a ser plaga en los cultivos. No obstante, contribuyen a la fertilidad del suelo al removerlo y airearlo. En Cerro San Miguel se les encontró dentro de cultivos abandonados de maíz.

***Thomomys umbrinus* (Richardson, 1829) “tuza de dientes lisos”**

**Localidades:** San Nicolás del Pedregal.

**Comentarios:** Son animales diurnos de tamaño pequeño, cavadores, que por lo regular son solitarias y pasan la mayor parte del tiempo dentro de

sus madrigueras. Se alimenta de plantas herbáceas, pastos, tubérculos y raíces. Estos animales son tolerantes a perturbaciones antrópicas.

***Heteromys irroratus (Gray, 1868) “ratón espinoso mexicano”***

**Localidades:** Cañada Contreras, sin localidad precisa.

**Comentarios:** Es un ratón nocturno de tamaño mediano. Presenta un par de abazones en las mejillas y se diferencia de los otros roedores del área porque presenta pelaje hirsuto (duro y de tipo espinoso). Aunque en ocasiones come plantas y algunos invertebrados, su alimentación se basa principalmente en semillas, por lo que podría convertirse en plaga de cultivos, sobre todo porque logran adaptarse perfectamente a zonas perturbadas.

***Microtus mexicanus (de Saussure, 1861) “meteorito o ratón alfalfero mexicano”***

**Localidades:** Cerca de Cieneguillas, Invernaderos (San Nicolás), La Pileta, Cuadrante 2 y 3, Cabeza de Toro.

**Comentarios:** *M. mexicanus* es un ratón de tamaño mediano de hábitos tanto diurnos como nocturnos, y que se distingue fácilmente de otros roedores de la zona por su hocico corto, cola corta, orejas pequeñas y redondas casi cubiertas por el pelaje. Cabe señalar que aunque dentro del área esta especie es muy común, solo se registro en el bosque de pino y abetos. Se le encontró asociado a *Neotomodon alstoni*, *Peromyscus levipes*, *P. maniculatus*, *P. melanotis*, *Reithrodontomys fulvescens*, *R. megalotis* y *R. chrysopsis*.

***Neotoma mexicana Baird, 1855 “rata montera mexicana”***

**Localidades:** Cañada Contreras, sin localidad precisa.

**Comentarios:** Esta especie de rata es la de mayor talla en el área de estudio, es de hábitos nocturnos y se encuentra asociada principalmente a ambientes rocosos, pendientes o acantilados. Las ratas monteras se pueden distinguir de la rata casera debido a la presencia de pelo en la cola en lugar de la piel desnuda.

***Neotomodon alstoni Merriam, 1898 “ratón de los volcanes”***

**Localidades:** El Campo, El Jarillal, Segundo y Cuarto Dinamo, Valle Tezontle, Invernaderos (San Nicolás), Cañada Cerro Panza, Cuadrante 1,

2.5 km. SW de Contreras.

**Comentarios:** Ratón endémico de México de tamaño mediano y muy dócil; es de hábitos nocturnos y se encuentra asociado a plantas herbáceas en cuyos tallos construye su madriguera. Esta especie se asemeja a especies del género *Peromyscus*, sin embargo, se puede diferenciar de éstas por su mayor tamaño. En el SCC fue el ratón más común, con una muestra de 25 ejemplares capturados en los distintos tipos de vegetación, de los cuales solo una hembra del mes de mayo del 2006 presentó rasgos reproductivos. Se le capturó junto con *Microtus mexicanus*, *Peromyscus difficilis*, *P. levipes*, *P. maniculatus*, *R. fulvescens* y *R. megalotis*.

***Peromyscus difficilis* Allen, 1891 “ratón orejudo de pedregal”**

**Localidades:** El Jarillal, Segundo y Cuarto Dinamo, Cuadrantes 2 y 3.

**Comentarios:** Especie herbívora y de hábitos nocturnos, esta especie suele encontrarse en sitios rocosos, con frecuencia en lugares donde hay bardas y edificios de piedra, los cuales utilizan para hacer sus madrigueras y para desplazarse. Se obtuvieron 15 registros de los cuales 12 se encontraron en bosque de abetos y dos en bosque de pino. Se le encuentra junto con *Neotomodon alstoni*, *Peromyscus levipes*, *P. maniculatus*, *P. melanotis* y *Reithrodontomys fulvescens*.

***Peromyscus levipes* Merriam, 1898 “ratón de campo”**

**Localidades:** Cuarto Dinamo, Invernaderos (San Nicolás).

**Comentarios:** Son ratones de tamaño mediano dentro del género *Peromyscus*, son herbívoros, aunque durante el verano casi el 60% de su alimentación consta de insectos. Generalmente se les encuentra en hábitats rocosos. Esta especie fue poco común en el área y una hembra mostró actividad reproductiva en el mes de mayo. Asociadas a esta especie se halló a: *Microtus mexicanus*, *Neotomodon alstoni*, *Peromyscus difficilis* y *Reithrodontomys fulvescens*.

***Peromyscus maniculatus* (Wagner, 1845) “ratón ciervo”**

**Localidades:** Primer y Segundo Dinamo, cerca de Cieneguillas, cañada del Cerro Panza, La Pileta, Cabeza de Toro, Colica y Coloxtitla, El Mirador, 2.5 Km SW Contreras.

**Comentarios:** Especie nocturna y altamente oportunista en su alimentación; come las plantas y los animales que se encuentren con

mayor disponibilidad. Estos ratones son de gran importancia debido a que son dispersores de semillas y de hongos micorrízicos. En el área de estudio se le encontró en el bosque de pino y abetos. Al parecer, la época reproductiva de esta especie se lleva a cabo en la primavera, ya que se encontraron hembras con actividad reproductiva en el mes de junio. El ratón ciervo se puede distinguir de *Peromyscus difficilis* ya que sus orejas son de menor tamaño. Se registró asociada a *Microtus mexicanus*, *P. melanotis*, *P. difficilis*, *Reithrodontomys megalotis*, *R. chrysopsis* y *Neotomodon alstoni*.

***Peromyscus melanotis* J. A. Allen y Chapman, 1897 “ratón montañoso”**

**Localidades:** Cerca de Cieneguillas, cañada del Cerro Panza, Segundo Dinamo, Valle Tezontle, La Pileta, cerca de la Pileta, Cuadrantes 2 y 3, Cabeza de Toro, La Guinda / La Campana.

**Comentarios:** Es una especie muy abundante en la zona, que se caracteriza por presentar una mancha negra en la parte anterior de las orejas, rasgo que junto con un tamaño mayor lo distingue de *P. maniculatus*. Son muy activos después de que oscurece y su alimentación es herbívora, aunque suelen comer algunos insectos. En el SCC fue una especie abundante en el bosque de pino y en el bosque de abetos. La mastofauna asociada a esta especie es la misma que para *P. maniculatus*.

***Reithrodontomys fulvescens* J. A. Allen, 1894 “ratón silvestre moreno”**

**Localidades:** Primer Dinamo, El Jarillal, Invernaderos (San Nicolás), Valle Tezontle, La Pileta, cerca de la Pileta, cerca del Truchero Arcoíris.

**Comentarios:** Es una especie nocturna que se alimenta principalmente de materia vegetal. En SCC se encuentra principalmente en el bosque de pino y encino. Esta especie se asocia a una mastofauna muy similar a la hallada para *Peromyscus maniculatus* y *P. melanotis*, excepto por *Reithrodontomys chrysopsis*.

***Reithrodontomys megalotis* (Baird, 1857) “ratón silvestre orejudo”**

**Localidades:** Primer Dinamo, El Campo, La Pileta, Cuadrantes 1 y 2, 4.5 Km S Contreras.

**Comentarios:** Este ratón es el más pequeño de este género; son animales nocturnos, principalmente herbívoros. Aunque esta especie suele ser muy abundante en zonas con zacatón cercanas al agua, y suele adaptarse a sitios



perturbados, en el SCC sólo se obtuvieron cuatro ejemplares en el bosque de pino y uno en el bosque de abetos. La mastofauna asociada a *R. megalotis* es la misma que para *Peromyscus difficilis*, además de *Microtus mexicanus*.

***Reithrodontomys chrysopsis* Merriam, 1900 “ratón dorado”**

**Localidades:** Cabeza de Toro.

**Comentarios:** Ratón endémico a México de hábitos nocturnos, herbívoros, aunque en ocasiones comen insectos. Esta especie habita en bosques de pino-encino y oyameles, y se ha observado que en ocasiones son más abundantes en zonas taladas, ya que los claros en el bosque permiten el crecimiento de zacatonales, que constituyen sus principales refugios. Esta especie solo contó con un registro en bosque de pino y fue encontrada junto con: *Microtus mexicanus*, *Peromyscus maniculatus* y *P. melanotis*.

***Reithrodontomys microdon* Merriam, 1901 “ratón campestre de dientecitos”**

**Localidades:** 24 Km SW Ciudad de México.

**Comentarios:** Especie semiarborícola, de tamaño mediano dentro del género. Aunque no se conoce bien su biología, se sabe que vive en zonas altas boscosas frías y húmedas; se alimenta de granos, semillas y otras plantas. Debido a sus hábitos arborícolas esta especie tiene muy poca tolerancia a las alteraciones en su ambiente.

***Reithrodontomys sumichrasti* (de Saussure, 1861) “ratón silvestre de tierras altas”**

**Localidades:** Primer Dinamo

**Comentarios:** Este ratón es el más grande del género, habita en una amplia variedad de hábitats, desde los bosques de pino-encino hasta cultivos de maíz, caña de azúcar y mango. Esta especie actualmente no se encuentra en riesgo, debido a su capacidad de tolerar las perturbaciones causadas por el hombre. Sin embargo, en el SCC no fue una especie común ya que sólo se cuenta con registros de la literatura.

***Sylvilagus cunicularius* (Waterhouse, 1848) “conejo mexicano, conejo pecho blanco, conejo montés”**

**Localidades:** El Campo, Colica y Coloxtitla, El Mirador.

**Comentarios:** Este conejo es el más grande en México, habita preferentemente en bosques de pino y es de gran importancia porque constituye un importante eslabón en la cadena trófica, ya que sirve de alimento a diversos animales. El registro de la especie fue mediante observaciones que se dieron únicamente en localidades de bosque de pino.

*Sylvilagus floridanus* (Allen, 1890) “conejo cola blanca, conejo castellano, conejo de monte”

**Localidades:** Entre Tercer y Cuarto Dinamo, Cuadrante 1.

**Comentarios:** Esta especie se distingue de *S. cunicularius* porque es de menor talla. Al igual que otros conejos es de hábitos crepusculares y se refugian en madrigueras. A diferencia de *S. cunicularius* esta especie se observa en localidades asociadas a bosque de abetos y de encino.

### ***Categorías de riesgo de extinción***

En relación con las categorías de riesgo de extinción de las especies reconocidas en el SCC, 8.1% se encuentran listadas por la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010). En cuanto a la categorización que les confiere la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (IUCN, 2012), sólo 5.4% se halla entre las especies categorizadas como Near Threatened (casi amenazadas), ya que el resto se encuentra en una categoría Least Concern (menor preocupación), con excepción de *Cryptotis alticola* de la cual se desconocen los datos. Por último, conforme al Convenio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, 2012), ninguna de las especies se incluye en sus apéndices (véase [Tabla 2](#)).

## **Discusión**

### ***Riqueza de especies***

La historia geológica, ubicación geográfica y amplia variación altitudinal (de 2 500 a 3 850 m) del SCC, le confiere una variedad de bosques de coníferas, que se relaciona directamente la diversidad de mamíferos dentro de la zona. De esta manera, la cantidad de especies reconocidas para la zona (37) supera la riqueza de especies registradas en otras regiones cercanas como Las Lagunas de Zempoala (34 especies; Ramírez-Pulido

1969) y el Ajusco (35; Aranda *et al.*, 1980), aunque también se encuentra ubicada por debajo de otras, como Zoquiapan (39; Blanco *et al.* 1981) y Milpa Alta (45; Navarro-Frías *et al.*, 2007).

En cuanto al número de especies por órdenes destaca Rodentia, con *Neotomodon alstoni* como especie predominante, debido a que su distribución se restringe a la Faja Volcánica Transmexicana y que tiene un amplio intervalo altitudinal, que va desde los 2 400 m hasta los 4 960 m. No se le considera una especie amenazada, pues existen poblaciones saludables en áreas naturales protegidas y se reproduce todo el año, aunque la cantidad de partos es mayor de abril a septiembre. Las hembras tienen un promedio de camada de 3 crías (Chávez, 2005. *Neotomodon alstoni* en Ceballos y Oliva, 2005). Además, se recolectaron especímenes de cuatro de las ocho familias de roedores registrados para México. Cricetidae es la familia mejor caracterizada, principalmente por su amplio rango de distribución y por ser ecológicamente un grupo diverso, con una gama amplia de formas de vida que ocupa distintos hábitats (Pardiñas *et al.*, 2002); este grupo incluye géneros que cuentan con una elevada riqueza de especies, como *Peromyscus* y *Reithrodontomys* (Ceballos y Oliva, 2005). Es importante señalar que el bosque de *Quercus* sólo contó con cuatro sitios de colecta, ya que por su cercanía con el área urbana es la zona más perturbada. A pesar de ello, se logró obtener el registro de 11 especies, entre las que destacan mamíferos que no sólo han logrado adaptarse a perturbaciones antropogénicas, sino que además pueden sacar cierto provecho de éstas, tal es el caso de *Didelphis virginiana* y *Bassariscus astutus* que obtienen alimento de los restos de comida y basura que dejan las personas que visitan estas áreas.

Aunque el SCC no presenta especies endémicas en el área, se registraron nueve especies con distribución restringida a la Faja Volcánica Transmexicana (Hall, 1981; Ceballos y Oliva, 2005), entre las que destacan *Neotomodon alstoni*, *Reithrodontomys chrysopsis*, *Cratogeomys merriami* y *Cryptotis alticola*. De acuerdo con los registros bibliográficos, de colecciones, los generados durante este trabajo y los registros que se han publicado para áreas contiguas a la zona de estudio, el número de especies de mamíferos en el SCC podría ir en aumento, en la medida que se incremente el número de estudios en la región, sobre todo porque en

ciertas áreas fue imposible obtener registros por lo accidentado del terreno, así como por los riesgos que implica muestrear en las proximidades a la zona metropolitana.

### ***Conservación***

La pérdida de la cubierta vegetal ocasionada por el crecimiento urbano, la expansión agrícola, la extracción del suelo y minerales, la tala clandestina, los incendios forestales y la excesiva explotación del área con fines recreativos constituyen los principales problemas en la zona rural de la CDMX. (Ezcurra *et al.*, 2005; Rendón *et al.*, 2006). De acuerdo con el Programa de Gestión y Administración de los Recursos Naturales de la CDMX, elaborado por la UNAM, para la Secretaría del Medio Ambiente, las áreas deforestadas equivalen al 7% de la extensión del área rural y se concentran en las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa y La Magdalena Contreras (Secretaría de Gobierno, 2004; Rendón *et al.*, 2006).

Es por ello que se debe establecer una estrategia para la conservación de la mastofauna en el SCC, a partir de la complejidad de hábitats que presenta la región, además de una planificación adecuada del uso de los recursos naturales y, de ser necesario, complementarla con prácticas enfocadas a frenar o revertir el deterioro del ambiente, no sólo por su riqueza específica o la protección de especies bajo alguna categoría de riesgo. Esto significa que mediante estos planes y estrategias, el manejo de los recursos definirá, en buena medida, la conservación de los ecosistemas forestales de México, lo que permitirá preservar los ambientes y la diversidad genética *in situ* (Bocco *et al.*, 2000).

### **Agradecimientos**

El presente trabajo se desarrollo como parte de las actividades del proyecto “Censo de Biodiversidad del Suelo de Conservación Contrerense” convenio entre la Facultad de Ciencias, UNAM y la Delegación La Magdalena Contreras, así como del Macroproyecto ”Manejo de Ecosistemas y desarrollo humano en la cuenca del río Magdalena”, el cual se desarrollo en la Facultad de Ciencias, UNAM. Agradecemos al personal del Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM por proporcionar apoyo en el trabajo de campo: P. Cruz e I. Solano. Damos las gracias en particular a los curadores de las diferentes entidades que nos permitieron

consultar las colecciones de Mamíferos: Museo de Zoología “ Alfonso L. Herrera “, Facultad de Ciencias, UNAM (MZFC); Colección de Mamíferos de la Universidad Nacional Autónoma Metropolitana (UAMI); Colección de Mamíferos, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN (ENCB) y la Colección Nacional de Mamíferos, Instituto de Biología, UNAM (CNM).

## Referencias

- Aranda, M., 2000. *Huellas y otros rastros de los mamíferos grandes y medianos de México*. Veracruz: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto de Ecología A. C.
- Aranda, J.M., et al., 1980. *Los Mamíferos de la Sierra del Ajusco*. México: Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agropecuario del Distrito Federal.
- Ávila-Akerberg, V., 2002. *La Vegetación de la Cuenca Alta del Río Magdalena: Un Enfoque Florístico, Fitosociológico y Estructural*. Tesis de Licenciatura. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ávila-Akerberg V., 2004. *Autenticidad de los bosques en la cuenca alta del río Magdalena. Diagnóstico hacia la restauración ecológica*. Tesis de Maestría. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Blanco, Z. S. et al., 1981. Ecología de la estación experimental Zoquiapan: descripción general, vegetación y fauna. *Colección Cuadernos Universitarios No. 2, Serie Agronomía*, Chapingo, Estado de México.
- Bocco, G., Velázquez, A. y Torres, A., 2000. Ciencia, comunidades indígenas y manejo de recursos naturales. Un caso de investigación participativa en México. *Interciencia*, 25, pp. 64-71.
- Ceballos, G. y C. Galindo. (1984). *Mamíferos Silvestres de la Cuenca de México*. México: Editorial Limusa.
- Ceballos, G., y Oliva, G., 2005. *Los Mamíferos Silvestres de México*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Chávez, C., 2005. *Neotomodon alstoni*. En: G. Ceballos, y Oliva, G. *Los mamíferos silvestres de México*. México: Conabio, Fondo de Cultura Económica editores. pp. 699-701.

- CITES., 2012. *Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*. Appendices I, II and III. Disponible en: <http://www.cites.org/eng/append/index.shtml>. [consultado el 19 junio 2012]
- Ezcurra, E., *et al.*, 2005. *La Cuenca de México. Aspectos Ambientales Críticos y Sustentabilidad*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Galindo, C., 1988. *Estudio de la distribución y diversidad mastofaunística en dos zonas de bosque templado en el Eje Neovolcánico. CICITEC Milpa Alta. D. F. y San Cayetano, Estado de México*. México. Reporte de Proyecto de investigación de la carrera de Biología, ENEP, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hall, E.R., 1981. *The Mammals of North America*. Nueva York: JohnWiley&Sons. Inc. Vols.I y II.
- Hortelano-Moncada Y. y Cervantes, F.A., 2011. Diversity of Wild Mammals in a Megalopolis: Mexico City, Mexico. En: O., Grillo, ed. *Changing Diversity in Changing Environment* (ISBN: 978-953- 307-796-3) InTech. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/235898297\\_Changing\\_Divers](https://www.researchgate.net/publication/235898297_Changing_Divers) [Consultado el 10 julio 2011]
- IUCN, 2012. *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.1*. Disponible en: <http://www.iucnredlist.org>. [consultado 19 junio 2012]
- Jujnovsky, J., 2003. *Las Unidades de Paisaje en la Cuenca Alta del Río Magdalena, México, D.F. Base Fundamental para la Planificación Ambiental*. Tesis de Licenciatura. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lindoro, U.A., 2007. *Propuesta de una metodología para la evaluación del impacto ambiental de asentamientos humanos irregulares en el Suelo de Conservación del DF*. Tesis de Maestría. México. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- López-Wilchis, R., 2003. Base de datos de los mamíferos de México depositados en colecciones de Estados Unidos y Canadá. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Disponible en: [http://www.revistas-conacyt.unam.mx/therya/index.php/THERYA/article/view/165/html\\_22](http://www.revistas-conacyt.unam.mx/therya/index.php/THERYA/article/view/165/html_22)
- Luis-Martínez, M.A. y Llorente-Bousquets, J., 1990. Mariposas en el

- Valle de México: Introducción e historia.1. Distribución local y estacional de los Papilionoidea de la Cañada de los Dinamos, Magdalena Contreras, D.F., México. *Folia Entomológica Mexicana*, 78, pp. 95-198.
- Medellín, R.A., Arita, H.T. y Sánchez, O.H., 1997. *Identificación de los murciélagos de México*. Clave de campo. México: Asociación Mexicana de Mastozoología. A. C. Publicación Especial Número 2.
- Navarro-Frías, J., González-Ruíz, N., y Álvarez-Castañeda, S., 2007. Los mamíferos silvestres de Milpa Alta, Distrito Federal: lista actualizada y consideraciones para su conservación. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 23(003), pp. 103-124.
- Pardiñas U.F.J., Elía, G.D. y Ortiz, P.E., 2002. Sigmodontinos fósiles (Rodentia, Muroidea, Sigmodontinae) de América del Sur: Estado actual de su conocimiento y prospectiva. *Mastozoología Neotropical*, 9, pp. 209-252.
- Ramírez-Pulido, J., 1969. Contribución al estudio de los mamíferos del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, Morelos, México. *Anales del Instituto de Biología. UNAM, Serie Zoología*, 40, pp. 252- 290.
- Ramírez-Pulido, J., *et al.*, 1996. Lista taxonómica de los mamíferos terrestres de México: A taxonomic list of the terrestrial mammals of Mexico. *Occasional Papers, Museum, Texas Tech University*, 158, p. 162.
- Ramírez-Pulido, J., *et al.*, 2000. *Bibliografía reciente de los mamíferos de México: 1994-2000*. México: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.
- Ramírez-Pulido, J., Arrollo-Cabrales, J. y Castro-Campillo, A., 2005. Estado actual y relación nomenclatural de los mamíferos terrestres de México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 21(1), pp. 21-82.
- Ramírez-Pulido, J., *et al.*, 2014. List of Recent Land Mammals of Mexico, 2014. *Special Publications of the Museum of Texas Tech University*, 63, pp.1-69
- Rendón H., Romero, E.M. y Lina, P.M., 2006. *Alternativas de sustentabilidad para la conservación de Áreas Naturales Protegidas en la zona metropolitana de la Ciudad de México*. México: Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente

- y Desarrollo, Instituto Politécnico Nacional.
- Sánchez, O., López-Ortega, G. y López-Wilchis, R., 1989. Murciélagos de la Ciudad de México y sus alrededores. En: R. Gío-Argáez, Hernández-Ruíz, I. y Sáinz-Hernández, E., comps. *Ecología Urbana*. México: Sociedad Mexicana de Historia Natural, Publicación Especial. pp. 141-165.
- Secretaría de Gobierno, 2004. Consejo de Población de Distrito Federal Calendario Demográfico. D.F. México. Disponible en: [www.copo.df.gob.mx](http://www.copo.df.gob.mx).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2010. Norma Oficial Mexicana. NOM-059-ECOL-2010. Protección ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de Riesgo y especificaciones por su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, Segunda sección, Mamíferos, pp. 136-147, miércoles 17 de enero de 2010.
- Valdez, E., 2007. *Saneamiento básico y urbanización de asentamientos humanos irregulares en el Suelo de Conservación del DF*. Tesis de Doctorado. México. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Villa-Ramírez, B., 1953. Mamíferos silvestres del Valle de México. *Anales del Instituto de Biología*, 23, pp. 269-492.
- Villa-Ramírez, B. y Cervantes, F.A., 2003. *Los Mamíferos de México*. México: Grupo Editorial Iberoamericana.
- 

<sup>1</sup> Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera”, Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.

Correo electrónico autor responsable: \*[donyire@hotmail.com](mailto:donyire@hotmail.com)



### **III. PROCESOS ECOLÓGICOS Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

## CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

*Julieta Jujnovsky Orlandini<sup>1\*</sup>, Marisa Mazari-Hiriart<sup>2</sup>, Gustavo Pérez Ortiz<sup>2</sup>, María Teresa Orta Ledesma de Velásquez<sup>3</sup>, Isaura Yáñez Noguez<sup>3</sup>*

### **Introducción**

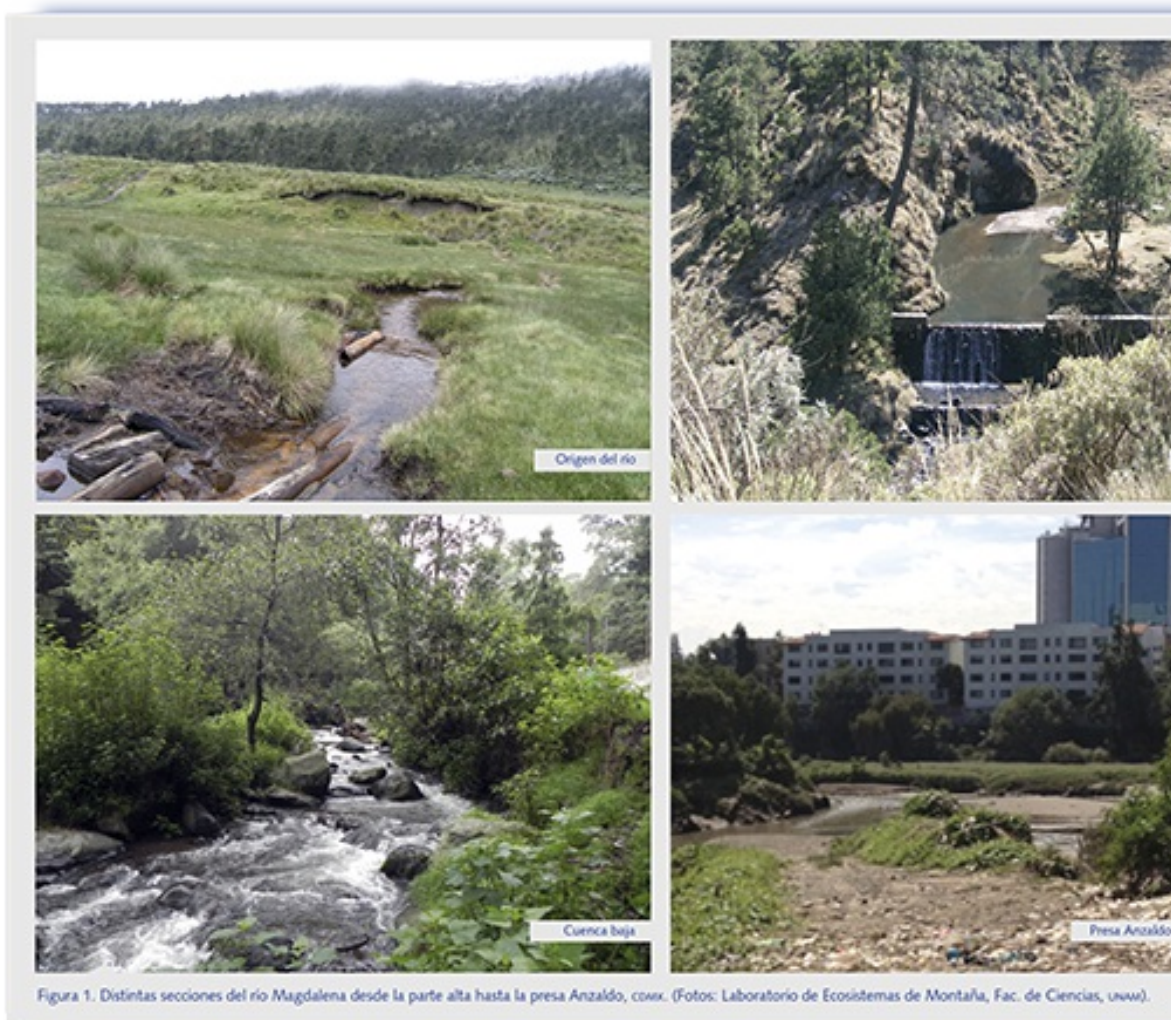
La disponibilidad de agua es uno de los mayores problemas que enfrentan las megaciudades de los países en desarrollo (Fuchs *et al.*, 1999). A escala mundial, el agua subterránea representa la mayor fuente de abastecimiento de agua para uso humano y el rápido crecimiento poblacional propicia la explotación intensiva de acuíferos en las ciudades (Llamas y Custodio, 2003). Considerando que más de la mitad de la población mundial se concentra actualmente en zonas urbanas, la protección de los reservorios de agua representa una tarea crítica dentro de las políticas públicas, especialmente en países en desarrollo (Mazari-Hiriart *et al.*, 2001, 2006). La Ciudad de México es un claro ejemplo de la problemática en relación con el recurso agua, pues ha existido un manejo inadecuado de sus recursos hídricos durante varios siglos (Ezcurra *et al.*, 2006; Mazari-Hiriart *et al.*, 2001). Si bien el mayor porcentaje de agua que se consume en la Ciudad de México proviene del subsuelo, los ríos que rodean la ciudad deben considerarse como elementos clave para la sostenibilidad de la urbe.

La cuenca del río Magdalena provee a la Ciudad de México de un conjunto de servicios ecosistémicos, entre los cuales el agua es el más evidente y de acceso directo para los habitantes. Esta zona contribuye al funcionamiento de la ciudad a través de la provisión de agua desde los tiempos en que inició la actividad industrial (1543), con las fábricas de hilados y tejidos y de papel (Favila, 2006), hasta nuestros días en los que el agua que provee la Delegación a la ciudad es de aproximadamente el 1%, pero representa la única fuente de abastecimiento de agua superficial permanente, además provee servicios ecosistémicos de regulación como la calidad del agua y el control de inundaciones. En este capítulo se abordarán específicamente los temas de cantidad y calidad del agua.

### **Descripción hidrológica**

El río Magdalena va cambiando su hidrogeomorfología en función de

la altitud (Fig. 1). En la parte alta (>3 300 msnm), el cauce es sumamente angosto y se alimenta de los manantiales vecinos. Esta zona es relativamente plana y se observa la formación de meandros. Hacia los 2 800 msnm, a pesar de la incorporación del agua proveniente de otros arroyos, el río se compacta debido a la resistencia al flujo en un lecho de rocas consolidadas, lo que provoca cambios abruptos en la sección transversal. Entre las cotas de 2 800 y 2 300 msnm, la pendiente del río es sumamente irregular, por lo que se presentan rápidos, aunque esta característica del río ha disminuido por la construcción de pequeñas presas de gavión, cuyo objetivo es disminuir la fuerza de la corriente (II/IE-UNAM, 2008).



**Figura 1**

A lo largo de la zona urbana, el río es utilizado como sistema de drenaje, recibe descargas en dos antiguos colectores marginales colocados

sobre el lecho del río, mismos que están en mal estado, así como descargas de agua residual de origen doméstico, lo que intenta controlarse con la construcción del drenaje perimetral que aún esta inconcluso. La obra para la colocación de este nuevo colector de aguas negras, que aún no está en operación, ha afectado el funcionamiento del río como sistema, presentándose semanas de sequía total en la zona baja del río a final de la época de secas, fenómeno observado durante los últimos años (2011-2013).

### **Cantidad de agua que produce la cuenca**

La cantidad de agua que produce una cuenca se define como aquella que escurre en las capas superficiales, subsuperficiales y subterráneas del suelo y que contribuye con la recarga del río o del acuífero. Para el cálculo de la cantidad de agua en esta cuenca se aplicaron dos métodos diferentes: el de Thornthwaite (Dunne y Leopold, 1978) y el modelo SWAT (Soil y Water Assessment Tools) que es una interface AvSWAT para ArcView 3.2 desarrollado por el Departamento de Agricultura de USA (Neitsch *et al.*, 2002).

El primer modelo se aplicó para tener un acercamiento al comportamiento del agua a largo plazo, mientras que con el segundo, se pudo determinar el tipo de escurrimiento predominante, superficial o subterráneo. Ambos modelos permiten conocer la relación del agua con la vegetación. Para realizar esta evaluación se delimitaron tres grandes unidades ambientales de acuerdo con similitudes en cuanto a relieve y vegetación, las cuales representan las comunidades vegetales más importantes de la cuenca: el bosque de pino (*Pinus hartwegii*), en la zona alta; el bosque de oyamel (*Abies religiosa*), en la media y el bosque mixto y de encinos (*Quercus* spp.) en la baja (Fig. 2).

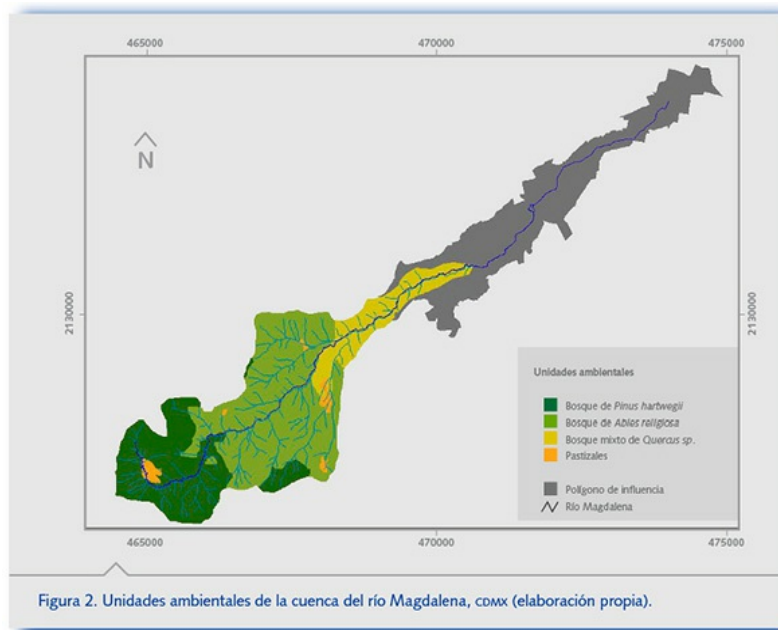


Figura 2. Unidades ambientales de la cuenca del río Magdalena, comx (elaboración propia).

**Figura 2**

El balance hídrico elaborado con el método de Thornthwaite mostró que esta cuenca genera 21 millones de m<sup>3</sup> al año, lo que equivale a 0.67 m<sup>3</sup>/s. El bosque de *Pinus hartwegii*, mostró un escurrimiento anual de 742 mm, lo que significa que esta unidad ambiental genera 6 878 000 m<sup>3</sup> de agua al año. Esto equivale a 32% del agua disponible en la cuenca (Jujnovsky *et al.*, 2010) (Tabla 1).

**Tabla 1**

Tabla 1. Provisión de agua por unidad ambiental (elaboración propia).						
Unidades ambientales	Extensión (ha)	Altitud y topografía	Vegetación	Precipitación anual (mm)	Escurrimiento (m <sup>3</sup> ) por unidad ambiental	Porcentaje % respecto al total
Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>	943	3 500-3 800 msnm, relieve con laderas menores a los 30° con presencia de material piroclástico	<i>Muhlenbergia quadridentata</i> <i>Festuca toluensis</i> <i>Pinus hartwegii</i>	1 125-1 150	6 877 992	32
Bosque de <i>Abies religiosa</i>	1 469	3 000-3 500 msnm, relieve de laderas agudas con más 45° de inclinación, suelos Andosol húmico	<i>Acaena elongata</i> , <i>Senecio angulifolius</i> , <i>Senecio cinerarioides</i> <i>Abies religiosa</i>	1 050-1 225	10 944 838	51
Bosque mixto y de <i>Quercus</i> spp.	482	2 500-3 000 msnm, relieve de piedemonte, valles erosivos y laderas suave (0-15°) y con mayor pendiente (15-30°) en la porción SW	<i>Abies religiosa</i> <i>Quercus laurina</i> , <i>Quercus rugosa</i>	1 000-1 100	3 217 505	15
Producción anual de agua					21 538 250	98*

\*El 2% restante lo constituyen pastizales.

Para el bosque de *Abies religiosa* se registró un escurrimiento anual de 754 mm. Tomando en cuenta su extensión, la cantidad de agua que escurre

en esta zona es de 10 944 800 m<sup>3</sup> de agua al año, es decir, 51% del agua disponible en toda la cuenca. La unidad ambiental de bosque mixto y de *Quercus* mostró un escurrimiento anual de 621 mm, por lo que el escurrimiento total para la zona es de 3 217 500 m<sup>3</sup> anuales, lo que equivale a 15% del agua que se genera en la cuenca. El 2% restante corresponde a los pastizales, distribuidos a lo largo de ésta.

El método SWAT (Jujnovsky *et al.*, 2012), por su parte, mostró que la mayor parte del agua (85%) escurre de manera basal, es decir, por las capas subterráneas y subsuperficiales del suelo, y únicamente 15% de ella escurre de manera superficial; mientras que la recarga al acuífero profundo equivale a menos del 1% del balance hídrico. Esto significa que la mayor cantidad de agua generada en esta cuenca contribuye a la recarga del río y no al acuífero, por lo que la vegetación juega un papel central en la dinámica hidrológica, ya que permite la retención del suelo y la infiltración de agua a través de las raíces.

### **Zona urbana y consumo de agua**

El polígono denominado área urbana abarca desde la confluencia con el río Eslava hasta su incorporación definitiva al drenaje en la avenida Río Churubusco. En esta área el río cuenta con 13.4 km, equivalente al 47.5% de su extensión total (PUEC-UNAM, 2008). El agua del río es distribuida por bombeo a zonas más altas, en lugar de abastecer a las colonias ubicadas en la zona aledaña al río, mismos a las que podría abastecerse por gravedad, haciendo más eficiente y económico su transporte.

**Tabla 2**

Tabla 2. Problemática del abasto de agua y drenaje en el área de influencia urbana de la cuenca del río Magdalena, comx (DGCOH, 2001-2006). Plan de acciones hidráulicas delegación Álvaro Obregón, delegación Coyoacán, delegación Magdalena Contreras, delegación Tlalpan).

	Magdalena Contreras	Tlalpan	Álvaro Obregón	Coyoacán
<b>Población del área de influencia</b>	78 476 habitantes (30% de la población total de la delegación).	4 637 habitantes (0.76% de la población total de la delegación).	18 878 habitantes (3% de la población total en la delegación).	76 431 habitantes (1% con respecto a la población total delegación).
<b>Fuente de abastecimiento de agua</b>	13 fuentes de abastecimiento de agua para la población provienen del río Magdalena.  En ocho colonias el servicio de agua potable es intermitente o inexistente, entre las más afectadas son San Bernabé y Las Cruces.	Manantiales ubicados en el cerro del Ajusco y de los pozos profundos ubicados en el norte de su territorio	Sistema Lerma-Cutzamala.	Sistema Lerma.
<b>Consumo de agua (L/hab/día)</b>	177 (L/hab/día)	172 (L/hab/día)	203 (L/hab/día)	178 (L/hab/día)
<b>Aguas residuales</b>	2.1% de los hogares no cuenta con drenaje y 30% no cuenta con agua entubada.  La aguas residuales no cuentan con plantas de tratamiento ni red de distribución de agua tratada a pesar de que se utilizan 50 m <sup>3</sup> /día de agua residual para equipamiento urbano y para el riego de 18 ha de áreas verdes.v	0.5% de los hogares no cuenta con drenaje, 5% tiene el drenaje conectado a fosas sépticas, barrancas o grietas y otro 5% no cuenta con agua entubada.  Las descargas de aguas residuales se realizan en barrancos y fosas sépticas.	12% de los hogares no cuenta con agua entubada.  Las aguas residuales tratadas provienen de las plantas Bosques de Chapultepec y Coyoacán, con la que se riegan 110 áreas verdes (106 ha) a través de dos líneas de distribución existentes: Las Águilas y Batallón San Patricio (113 km de longitud en total).	8.8% de los hogares no cuenta con drenaje (las descargas son realizadas en barrancas, fosas sépticas o pozos) y 9% de las viviendas no cuenta con agua para consumo humano.  Dispone de dos plantas de tratamiento de agua, de las cuales una es para abastecer a los habitantes de Coyoacán y otra para contribuir a incrementar el caudal del río Magdalena.

Tomando en cuenta la cantidad de agua que produce esta cuenca y el hecho de que el consumo mínimo recomendado para ciudades es de 150 litros diarios por persona (WHO/UNICEF, 2000), el río Magdalena podría abastecer a 460 811 habitantes, durante la temporada de lluvias, aun contemplando los 200 L/s que utiliza la planta potabilizadora (Jujnovsky *et al.*, 2012). Esto es dos veces y media la población de la zona de influencia (178,422), que en su mayoría no es abastecida por esta fuente, sino por el suministro que recibe del sistema Lerma–Cutzamala, que es una fuente externa a la cuenca. Por lo que es necesario desarrollar una estrategia de manejo del recurso hídrico diferenciada en función de las épocas de lluvias y de estiaje, ya que la temporalidad en la disponibilidad del agua es un factor que no se toma en cuenta para el aprovechamiento del recurso.

### Calidad del agua en la cuenca del río Magdalena

La disponibilidad de agua no sólo debe asociarse al hecho de contar con suficiente agua, sino que ésta sea de calidad aceptable para un uso específico. La calidad se define como el conjunto de características físicas, químicas y biológicas del agua. Dichas características son evaluadas, tanto cualitativa como cuantitativamente, mediante la determinación de sus componentes, obteniéndose valores numéricos que indican el estado actual del agua analizada y su uso potencial, en función de estos valores. Para

detectar las condiciones de calidad de un río se generan datos, proporcionados por la medición de parámetros, que permiten detectar los patrones de alteración de la calidad del sistema (APHA, 2005). Para evaluar la calidad del agua, se seleccionan los parámetros más relevantes, que permitan definir la tendencia sobre el grado de deterioro del sistema y del recurso mismo.

En el caso de la cuenca del río Magdalena, se han realizado evaluaciones sobre la calidad del agua considerando dos regiones: el área natural (AN) y la zona urbana (ZU), durante los ciclos anuales 2002-2003 (Bojorge-García, 2006) y el ciclo anual 2007 (Monges, 2009); resultados que se sintetizan en Jujnovsky *et al.* (2010). Con base en los datos de estas evaluaciones se observa que el cambio de la calidad del agua en esta cuenca se presenta en forma gradual; sus características fisicoquímicas se han asociado con las modificaciones que sufre la estructura de las comunidades de diatomeas, ya que éstas son el reflejo de un sistema lótico, o de flujo unidireccional, de alta montaña con una buena calidad del agua.

Las densidades de bacterias de origen fecal, que en este caso, incluyen cuatro grupos de microorganismos: coliformes totales, coliformes fecales, enterococos fecales y *Vibrio spp.*, muestran el cambio de un agua con características de relativamente buena calidad a un agua de mala calidad, específicamente en la zona urbana y presenta las características de un agua de tipo residual urbana, con presencia de especies patógenas y oportunistas (Bojorge-García, 2006; Monges, 2009). En ambos trabajos se observó la misma tendencia: el agua del río Magdalena es de relativamente buena calidad, incluso utilizable para consumo humano en la cuenca alta y media, con una reducción gradual de calidad conforme el río fluye hacia la zona baja y cuyo cambio es notorio en cuanto se incrementan las actividades humanas.

En el *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena del Distrito Federal* (II/IE-UNAM, 2008), proyecto elaborado por la UNAM en convenio con el Gobierno del Distrito Federal, se llevó a cabo un diagnóstico a detalle sobre el estado que guarda el río, para lo cual se seleccionaron 18 sitios que se consideraron representativos del sistema (Tabla 3), desde su origen en Cieneguillas, hasta su desembocadura en Río Churubusco, cubriendo



tanto el área natural como el área denominada zona urbana. La selección de sitios se realizó con base en los afluentes y principales aportes de agua al río, así como por la presencia de elementos que pudieran alterar el estado de éste, como canales que transportan agua residual y actividades humanas. En las figuras 3 y 4 se presentan los datos de la calidad del agua con base en oxígeno disuelto y coliformes fecales, que es un grupo de bacterias que indica la calidad microbiológica del agua y la posible presencia de patógenas. Posteriormente, con base en un análisis estadístico de los datos de calidad, se seleccionaron, para continuar el monitoreo, únicamente 8 de los 18 sitios, con el fin de evaluar los cambios que se presentarían una vez que se implementaran las acciones propuestas como parte del Plan Maestro, información reportada en PUMA-UNAM (2009).

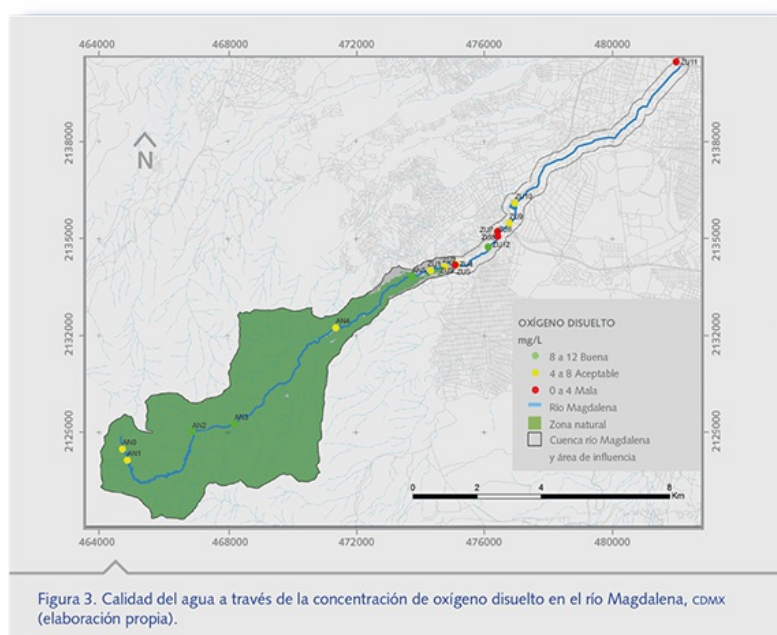
**Tabla 3**

Tabla 3. Sitios de muestreo en el río Magdalena, CDMX, durante el ciclo anual 2008 (elaboración propia).

CLAVE SITIO	LOCALIDAD	POSICIÓN GEOGRÁFICA UTM	
AN0	Origen del río	464728	2128487
AN1	Cieneguillas	464877	2128149
AN2	Ecotono	466901	2129031
AN3	Después del truchero	468219	2129284
AN4	Cuarto Dinamo	471370	2132235
AN5	Primer Dinamo	473758	2133833
ZU1	Terminal de autobuses	474345	2134026
ZU2	Ciclopista	474782	2134150
ZU3	Río Magdalena antes del río Eslava	475101	2134234
ZU4	Río Eslava	475104	2134201
ZU5	Río Magdalena después del río Eslava	475145	2134208
ZU6	Santa Teresa y Av. México/Blockbuster	476433	2135075
ZU7	Av. México, dos tubos de drenaje provenientes de San Francisco	476420	2135214
ZU8	Av. México	476429	2135220
ZU9	Calle Nayarit/costado Hospital Ángeles	476794	2135467
ZU10	Presa Anzaldo	476962	2136084
ZU11	Viveros de Coyoacán	481982	2140427
ZU12	Pedregal 2	476133	2134744

En la figura 3 se representan los datos de la calidad del agua basada en la concentración de oxígeno disuelto (OD) presente en el agua del río. Parámetro que resulta esencial para los organismos de respiración aerobia y para los procesos de oxidación y depuración del sistema acuático (Wetzel, 2001; APHA, 2005). En el área natural, el oxígeno disuelto, se registró en una concentración aceptable y buena, de acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, ya que los sitios de muestreo de esta área presentan concentraciones superiores a los 4 mg/L de OD

(LFDMA, 2012). Sin embargo, en la zona urbana, la concentración de oxígeno disminuye y su condición representa un agua de mala calidad, ya que se registraron concentraciones inferiores a 4 mg/L (Figura 3). De acuerdo con los resultados el agua en el área natural tiene características apropiadas como fuente de abastecimiento para uso público urbano y para riego agrícola, así como para protección a la vida acuática (agua dulce) (LFDMA, 2012). Mientras que en la zona urbana, la disminución de oxígeno disuelto a lo largo del cauce es resultado de la entrada de aguas residuales, con materiales de diferente origen producto de los asentamientos y actividades humanas.

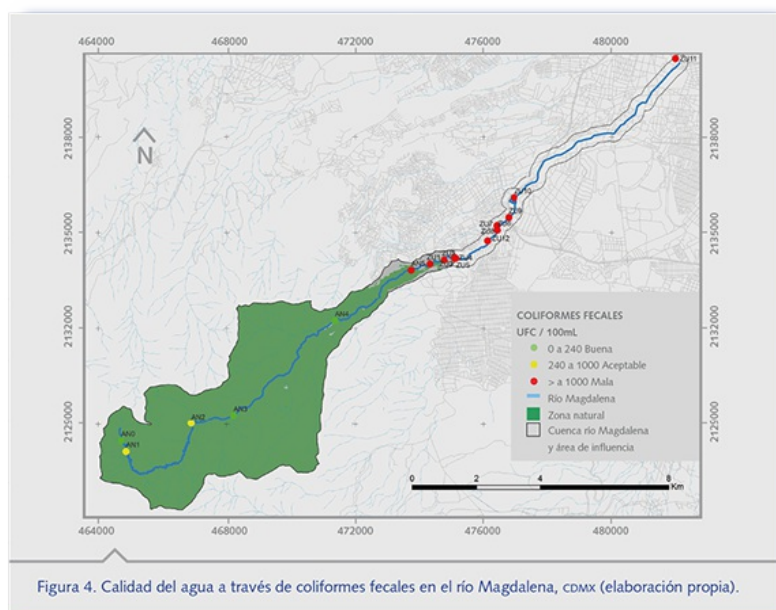


**Figura 3**

Cabe señalar que de acuerdo con los estudios realizados por el Instituto de Ingeniería e Instituto de Ecología, UNAM (II/IE-UNAM, 2008) y PUMA-UNAM, (2009), la conductividad eléctrica, se incrementa del área natural a la zona urbana. Este parámetro ayuda a establecer los sitios de entrada de agua de diferente calidad; en este caso agua residual de origen doméstico, producto de los asentamientos humanos que vierten sus aguas al cauce del río Magdalena, lo que modifica la condición del sistema en la zona urbana con una tendencia al incremento, aproximándose a una medida de 1 000 S/cm, conductividad característica de agua de menor calidad (APHA, 2005).

Asimismo, se realizó el análisis microbiológico del agua del río

Magdalena utilizando al grupo de las coliformes fecales (CF), por ser el indicador de contaminación fecal considerado en las leyes y normas mexicanas. De acuerdo con los datos de calidad del agua en los sitios más cercanos al nacimiento del río (Figura 4), los conteos de bacterias se encontraron en bajas densidades en el orden de cientos de Unidades Formadoras de Colonia (UFC) por cada 100 mL de agua.



**Figura 4**

Esta agua puede ser utilizada como fuente de abastecimiento con previa desinfección o para riego agrícola. En cambio, en los sitios en los que se observa influencia de actividades humanas, que corresponden a la zona urbana, se rebasa lo establecido tanto por la norma NOM-001-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales a cuerpos de agua nacionales (DOF, 1997), como por la norma NOM-003-SEMARNAT-1997 sobre reuso de agua en servicios al público, que indica un máximo de 240 UFC/100 mL de bacterias indicadoras en promedio mensual, en servicios al público con contacto directo y 1 000 UFC/100 mL en promedio mensual, en servicios al público con contacto indirecto u ocasional (DOF, 1998), lo que representa un riesgo potencial para las actividades recreativas en las que existe contacto directo con el agua del río. En la zona urbana, el incremento de bacterias indicadoras es superior a seis órdenes de magnitud en todos los sitios. Sobresale, el sitio de

muestreo en la confluencia del río Eslava y el río Magdalena, específicamente debido a la calidad del río Eslava.

Como parte de las evaluaciones previas en el área natural es posible mencionar que el tipo de contaminación microbiológica registrado es mixta; esto es que proviene tanto de origen animal como de origen humano, mientras que los puntos de muestreo en la zona urbana se presenta contaminación de origen predominantemente humano (II/IE-UNAM, 2008; PUMA-UNAM, 2009). Es importante resaltar que todos los sitios de la zona urbana fueron positivos para bacterias indicadoras, y considerar que se identificaron bacterias patógenas, posibles causantes de infecciones respiratorias y gastrointestinales. Algunas de estas bacterias no son nativas de este ambiente natural y representan organismos ajenos al sistema, confirmando la contaminación fecal, tanto de origen humano como animal (II/IE-UNAM, 2008). Es de suponer que el origen de algunas de estas bacterias está en las descargas de agua residuales.

En conclusión, la calidad del agua del río Magdalena puede describirse dividiendo el río en tres secciones: la primera, el área natural, donde los niveles de los diversos contaminantes son relativamente bajos (color verde); una zona de transición con calidad variable debido a la influencia de las actividades humanas y la temporalidad; con un comportamiento diferente durante época de lluvias o secas, que incluye los sitios en la ZU de la estación 1 a 6, con excepción del sitio 4 de la ZU, que corresponde a la confluencia con el río Eslava y que, como se mencionó, presenta las concentraciones más altas de los parámetros monitoreados; finalmente, una tercera sección en la que las concentraciones son relativamente altas desde Avenida Camino a Santa Teresa, hasta los Viveros de Coyoacán; debido a afluentes de agua residual procedente de las zonas de la ciudad por las cuales fluye el río y después es entubado.

El río Eslava es el aporte más importante de elementos ajenos al sistema y se une al río Magdalena en forma intermitente, dependiendo del caudal, seguido de aportes de la zona de Avenida San Francisco y Anzaldo, por lo que se considera que el tratamiento de estos aportes disminuiría notablemente el alto grado de contaminación que presenta el río Magdalena en la zona urbana; dejando de considerarlo como un sistema de drenaje. Cabe mencionar que en los estudios realizados a lo

largo de varios ciclos anuales en la temporada de secas, se presenta el peor escenario en cuanto a calidad del agua (II/IE-UNAM, 2008; PUMA-UNAM, 2009).

De acuerdo con la estimación de la carga orgánica aportada al río por las descargas de aguas residuales y la infraestructura existente, en el Plan Maestro se propuso la construcción de cinco plantas de tratamiento para la restauración de la calidad de agua del río, con el objeto de mantener el sistema lótico, así como para su reúso en riego, en el lavado de automóviles y como agua de uso potencial para riego en los Viveros de Coyoacán (II/IE-UNAM, 2008). De estas hay una en construcción en el Pueblo de la Magdalena por parte del Gobierno de la Ciudad de México, pero hasta la fecha se desconoce cómo será el sistema de tratamiento ni la cantidad de agua tratada.

La calidad de agua basada en parámetros microbiológicos permite determinar el potencial de uso del agua del río Magdalena como fuente de abastecimiento de agua para consumo humano, lo que va de acuerdo con su grado de alteración por zona (LFDMA, 2012).

En la última etapa del estudio Sistema de Indicadores para el rescate de los ríos Magdalena y Eslava, Distrito Federal (PUMA-UNAM, 2009), se recomendó la determinación de los indicadores de calidad del agua tres veces durante un ciclo anual, a lo cual debe darse seguimiento para evaluar la efectividad del Programa de Rescate propuesto en 2008 (PUEC-UNAM, 2008).

## **Conclusiones**

La zona de estudio se encuentra en una de las ciudades más grandes del mundo y su disponibilidad hídrica por número de habitantes es la más escasa de toda la República Mexicana. Por ello, estudiar los procesos hidrológicos en las zonas de recarga de dicha urbe debe de ser un asunto de interés gubernamental para asegurar la sustentabilidad hídrica de la propia ciudad. Se estima que el total de agua anual que escurre en esta cuenca, es de 21 millones de  $m^3$ , lo que equivale a  $0.67 m^3/s$ . El hecho de que el agua que se genera en la cuenca contribuya con la recarga del río y no del acuífero, es un hecho muy relevante para las políticas de manejo, las cuales deben estar enfocadas a la protección del bosque y del cauce manteniendo así múltiples servicios ecosistémicos que se generan en la

zona. Los datos del balance hídrico indican que la zona con mayor escurrimiento es la unidad ambiental de bosque de *Abies religiosa*, por su extensión y mayor precipitación.

También es fundamental considerar la temporalidad real del cauce, ya que no todo el año se encuentra la misma cantidad de agua. Los asentamientos irregulares, carentes de sistema de drenaje y alcantarillado, y que no cuentan con agua entubada para uso doméstico, tiene un efecto negativo sobre la calidad del agua del río, misma que se ve reflejada especialmente en los parámetros de oxígeno disuelto y bacterias coliformes fecales. Ante esta problemática resulta urgente, tanto controlar el cambio de uso de suelo, como regular los aportes de aguas residuales al cauce principal, así como mantener las condiciones naturales en la medida de lo posible en el área natural lo que redundará en una mayor cantidad y mejor calidad del agua a lo largo del sistema.

## Referencias

- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation (APHA), 2005. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. Washington, D.C: (Vigesima primera edición 21a ed.) United Book Press.
- Bojorge-García, M. G., 2006. *Indicadores biológicos de la calidad del agua en el río Magdalena, México, D.F.* Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1997. *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. 6 enero, 1997. México.
- Diario Oficial de la Federación. 1998. *Norma Oficial Mexicana NOM 003-SEMARNAT., 1997. Que establece los límites permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público*. 21 septiembre, 1998. México.
- Dunne, T. y Leopold, L., 1978. *Water in Environmental Planning*. Nueva York: W. H. Freeman and Company.
- Ezcurra, E., et al., 2006. *La Cuenca de México. Aspectos ambientales y sustentabilidad*. México: Fondo de Cultura Económica-Universidad

- Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias-UNAM., 2008. Informe de investigación para el Diagnóstico sectorial de la cuenca del río Magdalena: Componente 2. Medio Biofísico. En: Secretaría del Medio Ambiente/Gobierno del Distrito Federal-Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad/Universidad Nacional Autónoma de México *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena*. pp 32-94.
- Favila, J.M., 2006. *La Magdalena Contreras. Las Raíces y su Gente*. Delegación La Magdalena Contreras. México: Infagón Web, S.A. de C.V.
- Fuchs, R.J., *et al.*, 1999. *Mega-city Growth and the future*. Tokyo: United Nations University Press.
- Instituto de Ingeniería e Instituto de Ecología-UNAM (II/IE-UNAM), 2008. Informe de investigación para el diagnóstico sectorial de la cuenca del río Magdalena: Componente 4. Calidad de agua. En: Secretaría del Medio Ambiente/Gobierno del Distrito Federal-Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad/Universidad Nacional Autónoma de México. *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena*. pp. 127-184.
- Jujnovsky, J., *et al.*, 2010. Hydrologic ecosystem services: water quality and quantity in the Magdalena River, Mexico City. *Hidrobiológica*, 20(2), pp. 113-126.
- Jujnovsky, J., *et al.*, 2012. Assessment of water supply in a rural-urban watershed in southwest Mexico City. *Environmental Management*. DOI 10.1007/s00267-011-9804-3.
- Llamas, R. y Custodio, E., 2003. *Intensive use of groundwater: Challenges and opportunities. Chapter 3: Intensive ground water use in urban areas: the case of megacities*. Rotterdam, Países Bajos: Balkema Publishers Lisse. pp. 35-58.
- Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (LFDMA), 2012. Comisión Nacional del Agua. México.
- Mazari-Hiriart, M., *et al.*, 2006. Groundwater vulnerability Assessment for organic compounds: fuzzy multicriteria approach for Mexico City.

- Environmental Management*, 37(3), pp. 410-421.
- Mazari Hiriart, M., *et al.*, 2001. La Ciudad de México dependiente de sus recursos hídricos. *Ciudades*, 51, pp. 42-51.
- Monges, Y., 2009. *Calidad del agua como elemento integrador para la rehabilitación del río Magdalena, Distrito Federal, México*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. México. Posgrado en Ciencias Biológicas-Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Neitsch, S.L., *et al.*, 2002. *Soil and water assessment tool. Theoretical documentation, version 2000*. Texas: Texas Water Resources Institute.
- Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad (PUEC-UNAM), 2008. I. Delimitación del área de Plan. En: Secretaría del Medio Ambiente/Gobierno del Distrito Federal-Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad/Universidad Nacional Autónoma de México. *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena*. pp. 1-30.
- Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA-UNAM), 2009. *Sistema de indicadores para el rescate de los ríos Magdalena y Eslava*. México. Informe Técnico de la Universidad Nacional Autónoma de México a la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.
- Wetzel, G.R., 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*. San Diego C.A. (Tercera edición): Academic Press.
- WHO/UNICEF Joint Water Supply/Sanitation Monitoring Programme, Water Supply and Sanitation Collaborative Council y UNICEF., 2000. *Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 report*. Nueva York: World Health Organization, United Nations Children's Fund.
- 

<sup>1</sup> Ecosistemas de Montaña, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>2</sup> Laboratorio de Ciencias de la Sostenibilidad. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>3</sup> Coordinación de Ingeniería ambiental, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Autor de correspondencia: \*[julieta.jujnovsky@gmail.com](mailto:julieta.jujnovsky@gmail.com)



## LA VEGETACIÓN BOSCOSA Y EL USO DEL SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

*Víctor Ávila-Akerberg<sup>1\*</sup>, Mariana Nava-López<sup>1</sup>, Verónica Aguilar-Zamora<sup>1</sup> y Lucia Almeida Leñero<sup>1</sup>*

### Introducción

México es un país megadiverso en el que se ven representadas casi todas las comunidades vegetales del mundo. Esta gran biodiversidad está determinada por una compleja historia geológica, la extensión del territorio, la topografía, la gran variedad de climas y su ubicación entre dos regiones biogeográficas, la templada de Norteamérica (Neártica) y la tropical de Centro y Sudamérica (Neotropical). Esta posición biogeográfica ha significado que sus cordilleras funcionen como islas ecológicas y rutas de migración entre América del Norte y América Central (Rzedowski, 2006), lo que se manifiestan en su composición vegetal con elementos de ambas regiones en proporciones importantes (Rzedowski, 1978), lo que ha generado gran diversidad de hábitats y variados tipos de vegetación (Rzedowski, 1991). Más aún, la elevada variedad de especies que existe en el territorio se distribuye de forma heterogénea; su arreglo ecológico está definido de acuerdo con los tipos de vegetación (Sarukhán y Dirzo, 2001), que a su vez son resultado del conjunto de condiciones ambientales como el clima, la orografía, la latitud y la geomorfología.

México presenta un mosaico de vegetación dentro del que destaca la zona ecológica templada subhúmeda, que se distribuye principalmente a lo largo de las grandes cadenas montañosas del país (Toledo y Ordoñez, 1998), como las que rodean a la cuenca de México (CM). La cuenca del río Magdalena (CRM) forma parte de la CM y ha sido considerada como un refugio de fitodiversidad por su riqueza de plantas y ecosistemas templados (Ávila-Akerberg *et al.*, 2008; Ávila-Akerberg, 2010). Sin embargo, enfrenta una gran presión por el crecimiento urbano, la agricultura, la ganadería y el turismo desorganizado que han deteriorado, tanto los bosques como los pastizales naturales e inducidos. Por esta razón es importante reconocer y describir los distintos tipos de vegetación y uso

del suelo en la CRM.

Dentro del área de la conservación de ecosistemas, la descripción y el análisis de las comunidades vegetales son fundamentales para medir la heterogeneidad ambiental y la riqueza biológica, así como para detectar áreas prioritarias para su manejo. El presente trabajo representa un diagnóstico para la CRM que intenta servir como referencia de estudios futuros de ecología y conservación, que permitan evaluar el estado en el que se encuentra la vegetación y proponer medidas para su manejo y conservación.

### **Método**

Para la descripción de comunidades vegetales se utilizó el método fitosociológico (Mueller-Dumbois y Elleberg, 1974). Esta aproximación se basa en la premisa de que la composición florística total de una porción de la vegetación es la que mejor expresa las relaciones entre los distintos tipos de vegetación y el ambiente. Una comunidad vegetal se define por su composición florística. De esta manera, la fitosociología delimita agrupaciones de especies bajo características particulares de estructura y composición (Ávila-Akerberg, 2002). Siguiendo la escuela fitosociológica de Zürich-Montpellier (Braun-Blanquet, 1932; Mueller-Dombois y Elleberg, 1974), se diseñó un muestreo aleatorio estratificado en los diferentes tipos de bosque de la CRM (Ávila-Akerberg, 2004). Se documentaron 87 sitios de muestreo de 25 x 25 m (625 m<sup>2</sup>); para cada sitio se elaboró un inventario de plantas vasculares y se estimó el porcentaje de cobertura por estrato y por especie. Adicionalmente, se registraron las coordenadas geográficas, así como la altitud, la pendiente, la exposición y la superficie de suelo desnudo. Las plantas colectadas se determinaron con claves taxonómicas especializadas para la zona (Beetle, 1983, 1987; Espinosa y Sarukhán, 1997; Rzedowski y Rzedowski, 2001). Las sinonimias y la nomenclatura de los nombres científicos se corroboraron en la base de datos del Missouri Botanical Garden (Tropicos, 2007).

La información de campo se organizó en una tabla fitosociológica (Tabla 1), donde se colocan las especies en las filas y los sitios de muestreo en las columnas. A partir de esta tabla, se ordenaron las especies con base en la cobertura y en función de la altitud. Estos datos permitieron la clasificación de las comunidades vegetales, las cuales se corroboraron

con un análisis de clasificación jerárquica y aglomerativa con el programa PC-Ord 4.0 (McCune y Mefford, 1999).

Tabla 1

Tabla 1. Tabla fitosociológica sintética. Se muestran las especies de plantas más frecuentes por comunidad. Frecuencias: V = la especie aparece en más del 60% de las parcelas de muestreo, IV = 40-60 %, III = 20-40 %, II = 10-20 %, I = <10 %. En paréntesis los valores de cobertura máximos y mínimos (elaboración propia).

Comunidad de <i>Pinus hartwegii</i>	Frecuencia (cobertura)	Comunidad de <i>Abies religiosa</i>	Frecuencia (cobertura)	Comunidad de <i>Quercus</i> y mixto	Frecuencia (cobertura)
<i>Pinus hartwegii</i>	V(10-95)	<i>Abies religiosa</i>	V(30-90)	<i>Quercus rugosa</i>	V(1-90)
<i>Calamagrostis tolucensis</i>	V(2-80)	<i>Acaena elongata</i>	V(0.5-80)	<i>Quercus laurina</i>	IV(5-60)
<i>Alchemilla vulcanica</i>	V(0.5-70)	<i>Roldana angulifolia</i>	V(0.5-80)	<i>Ageratina rivalis</i>	IV(0.5-60)
<i>Penstemon campanulatus</i>	V(0.5-20)	<i>Thuidium delicatulum</i>	V(0.5-90)	<i>Buddleia cordata</i>	III(0.5-10)
<i>Muhlenbergia quadridentata</i>	IV(0.5-60)	<i>Roldana barba-johannis</i>	IV(0.5-50)	<i>Smilax moranensis</i>	III(0.5-5)
<i>Eryngium carlinae</i>	IV(0.5-5)	<i>Symphoricarpos microphyllus</i>	IV(0.5-25)	<i>Salvia concolor</i>	III(0.5-10)
<i>Vaccinium caespitosum</i>	IV(0.5-2)	<i>Salix paradoxa</i>	IV(0.5-15)	<i>Stachys coccinea</i>	II(0.5-20)
<i>Festuca tolucensis</i>	III(0.5-70)	<i>Sibthorpia repens</i>	IV(0.5-15)	<i>Pinus serotina</i> var. <i>capulli</i>	II(0.5-5)
<i>Baccharis conferta</i>	III(0.5-1)	<i>Solanum cervantesii</i>	III(0.5-60)	<i>Alnus jonullensis</i> ssp. <i>jonullensis</i>	II(0.5-20)
<i>Geranium portillaeifolium</i>	III(0.5-20)	<i>Alchemilla procumbens</i>	III(0.5-60)	<i>Ceanothus coeruleus</i>	II(0.5-1)
<i>Oxalis alpina</i>	III(0.5-15)	<i>Cestrum thyrsoides</i>	III(0.5-70)	<i>Conopholis alpina</i>	II(0.5-0.5)
<i>Oxalis corniculata</i>	III(0.5-0.5)	<i>Salvia elegans</i>	III(0.5-60)	<i>Adiantum andicola</i>	II(0.5-3)
<i>Eriogon galeottii</i>	III(0.5-1)	<i>Ageratina glabrata</i>	III(0.5-30)	<i>Clethra mexicana</i>	II(0.5-5)
<i>Gnaphalium liebmanii</i> var. <i>monticola</i>	III(0.5-2)	<i>Senecio tolucanus</i>	III(0.5-50)	<i>Salvia amarissima</i>	II(0.5-15)
<i>Stevia incognita</i>	III(0.5-10)	<i>Buddleia parviflora</i>	III(0.5-10)	<i>Salvia gesneriflora</i>	II(0.5-30)
<i>Commelina orchiloides</i>	III(0.5-0.5)	<i>Physalis tozomatli</i>	III(0.5-15)	<i>Rubus pumilus</i>	II(0.5-15)
<i>Phacelia platycarpa</i>	III(0.5-1)	<i>Ribes ciliatum</i>	III(0.5-10)	<i>Trepadora mediana</i>	II(0.5-15)
<i>Potentilla candicans</i>	III(0.5-5)	<i>Fragaria mexicana</i>	III(0.5-5)	<i>Montanoa frutescens</i>	II(0.5-15)
<i>Arenaria lycopodioides</i>	III(0.5-2)	<i>Fuchsia microphylla</i> var. <i>microphylla</i>	III(0.5-15)	<i>Valeriana clematidis</i>	II(0.5-20)
<i>Cirsium jonullense</i> ssp. <i>jonullense</i>	III(0.5-5)	<i>Asplenium monanthes</i>	III(0.5-1)	<i>Phytolacca icosandra</i>	II(0.5-5)
<i>Potentilla rubra</i>	III(0.5-5)	<i>Cinna poiformis</i>	II(0.5-30)	<i>Cupressus lusitanica</i>	I(1-15)
<i>Lupinus glabratus</i>	III(0.5-1)	<i>Ageratina pazuarensis</i>	II(0.5-3)	<i>Arbutus xalapensis</i>	I(1-10)
<i>Eryngium proteiflorum</i>	II(0.5-20)	<i>Senecio cinerarioides</i>	II(0.5-5)	<i>Tagetes lucida</i>	II(0.5-10)
<i>Helenium scorzonifolium</i>	II(0.5-50)	<i>Comarostaphylis discolor</i> var. <i>discolor</i>	II(0.5-1)	<i>Moss</i>	II(0.5-5)
<i>Lupinus montanus</i>	II(0.5-5)	<i>Cirsium ehrenbergii</i>	II(0.5-1)	<i>Cystopteris fragilis</i>	II(0.5-0.5)
<i>Senecio roseus</i>	II(0.5-5)	<i>Packera sanguisorbae</i>	II(0.5-15)	<i>Quercus crassipes</i>	II(0.5-5)
<i>Plantago nivea</i>	II(0.5-20)	<i>Sambucus nigra</i> var. <i>canadensis</i>	II(0.5-10)	<i>Trisetum virletii</i>	II(0.5-5)
<i>Eupatorium schaffneri</i>	II(0.5-0.5)	<i>Stellaria cuspidata</i>	II(0.5-3)	<i>Helecho</i> sp3	II(0.5-0.5)
<i>Trisetum altijugum</i>	II(0.5-5)	<i>Geranium seemanni</i>	II(0.5-5)	<i>Archibaccharis hirtella</i>	II(0.5-2)
<i>Stachys repens</i>	II(0.5-1)	<i>Cerastium nutans</i>	II(0.5-0.5)	<i>Agave atrovirens</i>	II(0.5-0.5)
<i>Bidens odorata</i>	II(0.5-10)	<i>Drymaria laxiflora</i>	II(0.5-1)	<i>Phoradendron velutinum</i>	II(0.5-0.5)
<i>Ranunculus donianus</i>	II(0.5-0.5)	<i>Sigesbeckia jonullensis</i>	II(0.5-30)	<i>Viburnum stenocalyx</i>	II(0.5-1)
<i>Bryum procerum</i>	II(0.5-30)	<i>Senecio callosus</i>	II(0.5-10)		
<i>Viola hookeriana</i>	II(0.5-0.5)	<i>Pteridium aquilinum</i>	II(0.5-1)		
<i>Achillea millefolium</i>	II(0.5-10)	<i>Monotropa uniflora</i>	II(0.5-0.5)		
<i>Gamochaeta americana</i>	II(0.5-0.5)	<i>Salvia mexicana</i> var. <i>minor</i>	II(0.5-10)		
<i>Trisetum spicatum</i>	II(0.5-1)	<i>Monnina ciliolata</i>	II(0.5-5)		
<i>Astragalus micranthus</i>	II(0.5-1)	<i>Salvia microphylla</i> var. <i>neurepia</i>	II(0.5-1)		
<i>Taraxacum officinale</i>	II(0.5-0.5)	<i>Erodium cicutarium</i>	II(0.5-1)		

Para elaborar el mapa a escala 1:20 000, se fotointerpretaron y delimitaron los tipos de bosque y de uso del suelo, a partir de un mosaico georreferenciado de fotografías aéreas del año 2005, proporcionado por el Instituto de Geografía (UNAM), que se corrigió geométricamente en proyección UTM (Universal Transversal Mercator) con el esferoide de Clark 1866 y el Datum NAD 27. El mosaico georreferenciado se interpretó visualmente de forma directa en la computadora, con ayuda del sistema de información geográfica (SIG) ILWIS 3.3. Posteriormente se procedió a la delimitación de los diferentes tipos de vegetación. La leyenda para el etiquetado de los polígonos de vegetación y uso del suelo, se basó en el sistema de clasificación de vegetación de INEGI (2000). Además, se empleó información sobre la composición florística, la fisonomía de las comunidades vegetales y las formas de vida de las plantas, contenida en 87 levantamientos de vegetación y de los puntos de verificación en campo georreferenciados con GPS.

## Resultados

Se describen tres tipos de bosque definidos principalmente por el marcado gradiente altitudinal (de 2 470 msnm en la parte baja a los 3 870 en la más alta): *Pinus hartwegii* (pino de las alturas), *Abies religiosa* (oyamel) y bosque mixto y de *Quercus* (encino) que, en conjunto, incluyen ocho comunidades (Fig. 1; Tabla 2). El bosque de *Pinus hartwegii*, forma un complejo aislado de especies distintas al resto de las unidades de vegetación de la cuenca, mientras que el de *Abies religiosa* y todo el complejo de bosque mixto y de *Quercus* no presentan una clara separación.

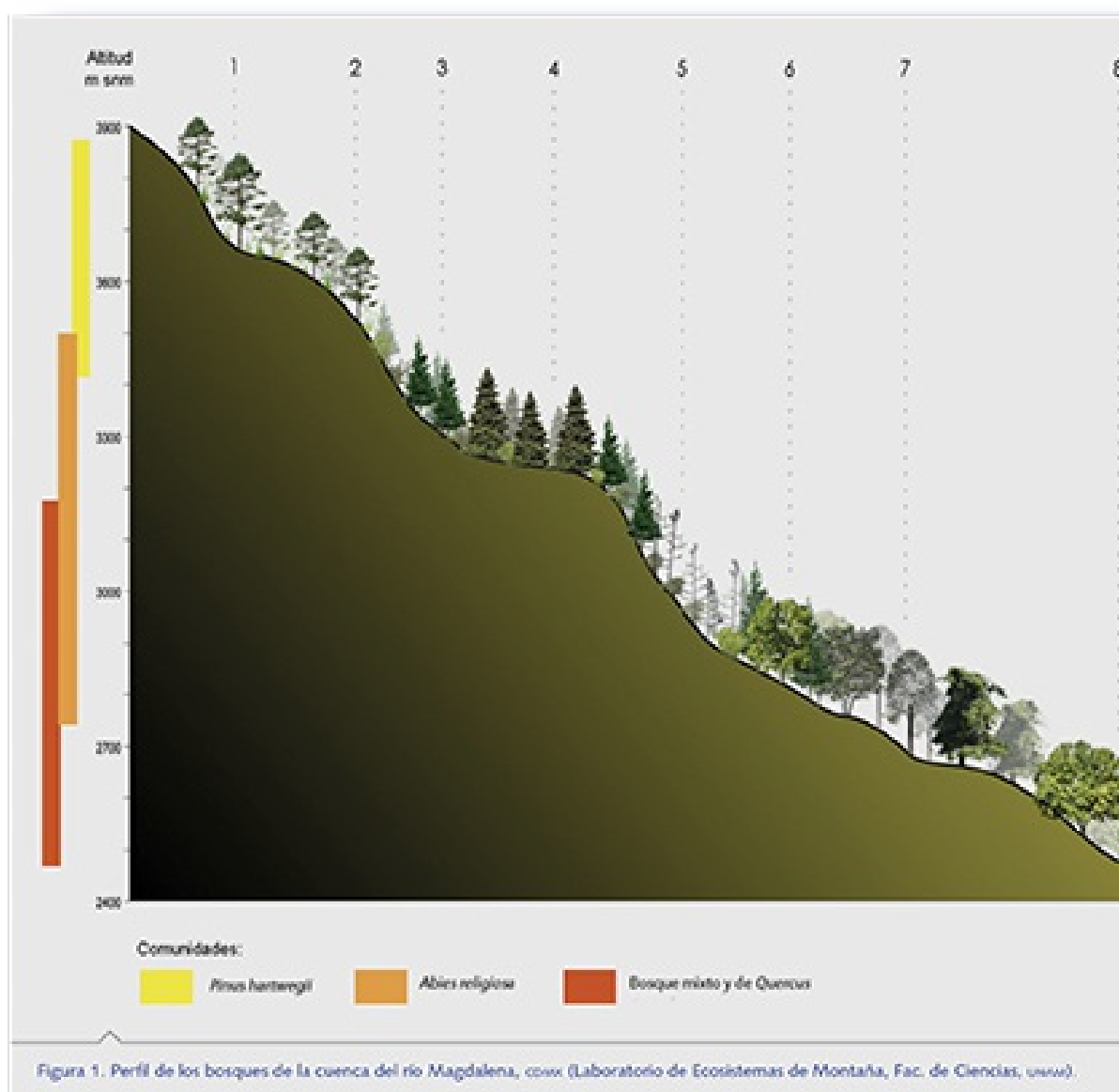


Figura 1

Tabla 2

Tabla 2. Comunidades vegetales en la cuenca del río Magdalena, comx, y su distribución altitudinal (elaboración propia).

BOSQUE	COMUNIDAD VEGETAL	INTERVALO ALTITUDINAL (MSNM)
Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>	<i>Muhlenbergia quadridentata</i> - <i>Pinus hartwegii</i>	3 500-3 870
	<i>Festuca toluensis</i> - <i>Pinus hartwegii</i>	3 420-3 660
Bosque de <i>Abies religiosa</i>	<i>Roldana angulifolia</i> - <i>Abies religiosa</i>	2 750-3 500
	<i>Acaena elongata</i> - <i>Abies religiosa</i>	2 850-3 500
	<i>Abies religiosa</i> - <i>Senecio cinerarioides</i>	3 130-3 370
Bosque mixto y de <i>Quercus</i>	<i>Quercus laurina</i> - <i>Abies religiosa</i>	2 800-2 990
	<i>Quercus laurina</i> - <i>Quercus rugosa</i>	2 470-2 870
	<i>Pinus patula</i> - <i>Cupressus lusitanica</i> - <i>Alnus jorullensis</i> spp. <i>jorullensis</i>	2 820-3 200

### Bosque de *Pinus hartwegii*

Se localiza en la parte alta de la cuenca, por arriba de los 3 300 y hasta los 3 870 msnm, abarca una superficie de 1 018 ha. que corresponden a 35% de la superficie total de la CRM. Generalmente se desarrolla en pendientes poco pronunciadas, de 5% de inclinación, sobre Andosoles y Litosoles poco profundos (26 cm). Es un bosque abierto, en el que el estrato de árboles es el dominante y compuesto casi en su totalidad por *Pinus hartwegii*. En cuanto a la cobertura, en promedio, 60% de la superficie está cubierta por vegetación, mientras que 40% presenta suelo desnudo.

El estrato herbáceo está dominado por *Festuca toluensis* y *Muhlenbergia quadridentata*. En este tipo de bosque no existe un estrato arbustivo bien definido; esto es, hay pocos arbustos que se presentan de manera dispersa (Fig. 2). Además, se presentan en esta comunidad *Vaccinium caespitosum* (mora azul enana) en el estrato arbustivo con alturas bajas (<20 cm), *Cirsium jorullense* ssp. *jorullense* (cardo santo), *Eryngium carlinae* (hierba del sapo), *Penstemon gentianoides* (jarritos) y *P. roseus* (jarritos rojos) en el estrato herbáceo y *Alchemilla vulcanica* (chilillo, hojase) en el rasante. En zonas cercanas a caminos, los árboles de *P. hartwegii* se encuentran parasitados por *Arceuthobium vaginatum* (muérdago enano, flor de ocote) (Hernández-Sánchez, 2012). En algunas cañadas protegidas y con orientación norte, se forma un ecotono entre este bosque y el de *Abies religiosa*; esto es, un espacio de frontera entre ambas comunidades, en las que las especies y los rasgos de las dos se encuentran mezclados, por lo que es difícil establecer un límite claro entre ambas.

Las comunidades que componen al bosque de *Pinus hartwegii* son la comunidad de *Muhlenbergia quadridentata*-*Pinus hartwegii* y *Festuca toluensis*-*Pinus hartwegii*.



Figura 2. Bosque de *Pinus hartwegii* en la cuenca del río Magdalena, CDMX. (Foto: Verónica Aguilar).

**Figura 2**

### **Comunidad de *Muhlenbergia quadridentata*-*Pinus hartwegii***

Presenta una cobertura promedio de vegetación del 60%, con un estrato herbáceo dominado por *Muhlenbergia quadridentata* (zacatón), que cubre entre 5-60% de la superficie. El estrato de árboles es abierto (los árboles están espaciados) y no cubren más del 40% (Fig. 3). Por su parte, el estrato rasante (compuesto por plantas rastreras) cubre entre <1 y 20% del suelo. Finalmente, el estrato arbustivo es el menos representativo. Además, presenta otras especies características, como *Trisetum altijum*, *Luzula racemosa* (junquillo), *Tauschia alpina* y *Viola hookeriana* (violeta) para el estrato herbáceo y *Oxylobus arbutifolius* para el arbustivo. Esta comunidad se desarrolla comúnmente entre los 3 500 y los 3 870 msnm. La pendiente mínima en la que se presenta es de 5% de inclinación y la máxima de 55%.



Figura 3. Comunidad de *Muhlenbergia quadridentata*-*Pinus hartwegii* en la cuenca del río Magdalena, comx.  
(Foto: Verónica Aguilar).

**Figura 3**

### **Comunidad de *Festuca tolucensis*-*Pinus hartwegii***

La vegetación cubre 70% de la superficie. Se caracteriza porque el estrato herbáceo está dominado por *Festuca tolucensis* (zacate amacollado). Este estrato cubre entre 10-70% de la superficie. Por su parte, el estrato de árboles cubre también entre 10 y 70%, mientras que el estrato rasante es más bien escaso (Fig. 4).



Figura 4. Comunidad de *Festuca tolucensis*-*Pinus hartwegii* en la cuenca del río Magdalena, CDMX. (Foto: Verónica Aguilar).

#### Figura 4

Algunas otras especies comparten el estrato herbáceo, con coberturas menores, como *Arenaria lycopodioides*, *Commelina orchioides* (hierba del pollo), *Draba nivicola*, *Erigeron galeotii*, *Physalis pringlei* var. *pringlei* (tomatillo), *Ranunculus donianus* (ranúnculo), *Stevia incognita* (hierba dulce), *Taraxacum officinale* (diente de león) y *Trisetum spicatum*. Se presenta en baja proporción la parásita *Arceuthobium vaginatum* (muérdago enano). Esta comunidad se ubica entre los 3 420 a 3 660 msnm, en pendientes que oscilan entre 5 y 45%.

#### **Bosque de *Abies religiosa***

Tiene una superficie de 1 130 ha. que corresponden a 38% de la superficie total de la CRM, se localiza en la parte media de la cuenca, entre los 2 750 y los 3 500 msnm, en las laderas de las cañadas donde hay mayor concentración de humedad y con orientación norte. Se desarrolla preferentemente sobre pendientes muy pronunciadas, de hasta 60% de inclinación, sobre suelos de tipo Andosol húmico, profundos (>30 cm), ricos en materia orgánica y con buen drenaje. Es un bosque denso, cuya vegetación cubre hasta 90% de la superficie. La vegetación mejor representada en este caso corresponde a dos estratos de árboles y uno de



arbustos (Fig. 5). *Abies religiosa* es característica en el estrato arbóreo, aunque a veces también se pueden encontrar *Salix paradoxa* (sauce), *Sambucus nigra* var. *canadensis* (sauco), *Alnus jorullensis* (aile) y *Cupressus lusitanica* (cedro blanco). Otros grupos dominantes, además de *Abies religiosa*, son *Roldana angulifolia*, *Acaena elongata* (cadillo, pegarropa) y *Thuidium delicatulum* (musgo para nacimientos). En algunas áreas, especialmente aquéllas perturbadas por incendios, se presentan manchones de *Senecio cinerarioides* (jarilla blanca), con coberturas altas. Existen otras especies que acompañan a este bosque, aunque con menor cobertura, como *Cestrum thyrsoideum* (hierba del zopilote) y *Roldana barba-johannis* (barba de San Juan de Dios) para el estrato de arbustos, y *Salvia elegans* (mirto rojo) para el de herbáceas.



Figura 5. Bosque de *Abies religiosa* en la cuenca del río Magdalena, comx. (Foto: Verónica Aguilar).

### Figura 5

El bosque de *Abies religiosa* presenta tres comunidades diferentes: *Roldana angulifolia-Abies religiosa*; *Acaena elongata-Abies religiosa* y *Abies religiosa-Senecio cinerarioides*

#### **Comunidad de *Roldana angulifolia-Abies religiosa***

Presenta una cobertura de vegetación de 90% y se caracteriza por el dominio del estrato arbustivo, el cual está representado por la especie

*Roldana angulifolia* (bandera), que llega a presentar coberturas de entre <1 y 50%. El estrato de árboles es cerrado, con coberturas de entre 30 y 90%, en tanto que el herbáceo y rasante presentan coberturas de entre 40 y 30% respectivamente (Fig. 6).



Figura 6. Comunidad de *Roldana angulifolia*-*Abies religiosa* en la cuenca del río Magdalena, comx. (Foto: Verónica Aguilar).

### Figura 6

Existe un estrato arbóreo bajo, compuesto principalmente por *Sambucus nigra* var. *canadensis*, *Salix paradoxa* (sauce, gusanillo) y *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* (aile). En el estrato de arbustos se presenta, con menor cobertura, *Ageratina maireriana*, mientras que en el estrato herbáceo son importantes las *Fragaria mexicana* (fresa silvestre), *Osmorhiza mexicana*, *Senecio callosus*, *Stellaria cuspidata*, *Prunella vulgaris* y *Valeriana clematidis*. Esta comunidad se distribuye en altitudes que van desde 2 750 hasta 3 500 msnm y se desarrolla sobre pendientes muy pronunciadas, de 65% de inclinación.

### Comunidad de *Acaena elongata*-*Abies religiosa*

Presenta una cobertura de vegetación de hasta 90%. En ella, el estrato arbóreo está representado por la especie *Abies religiosa*, con coberturas que van de entre 40 y 90%. El estrato arbustivo presenta coberturas mínimas de 30% y máximas de 90%; en este estrato *Acaena elongata* es

dominante, con coberturas que alcanzan 60%. El estrato herbáceo presenta un 60% de cobertura y el rasante 50%. En el estrato herbáceo se encuentran *Festuca amplissima*, *Physalis coztomatl* y *Trisetum kochianum*. Destaca la presencia de *Salvia elegans* en porcentajes de cobertura de hasta 10%. Esta comunidad se distribuye en altitudes de entre 2 850 y 3 500 msnm y sobre pendientes de muy variada inclinación, desde pronunciadas (65%), hasta casi planas (2% de inclinación) (Fig. 7).



Figura 7. Comunidad de *Acaena elongata*-*Abies religiosa* en la cuenca del río Magdalena, CDMX. (Foto: Verónica Aguilar).

**Figura 7**

### **Comunidad de *Abies religiosa*-*Senecio cinerarioides***

Se caracteriza por la dominancia de *Senecio cinerarioides*, con coberturas que van de 10 a 40%. Por su parte, *Abies religiosa* presenta coberturas bajas, no mayores a 20%. El estrato arbóreo presenta coberturas que van de 2 a 50%, mientras que el estrato de arbustos es conspicuo, con entre 25 y 50% de cobertura. Le sigue en importancia el estrato herbáceo, que cubre de 3 a 15%, y el rasante con una cobertura de 3 al 20%. La cobertura

máxima del suelo desnudo es de 50%. En esta asociación se encuentra *Salix paradoxa*, como componente del dosel inferior, mientras que en el estrato arbustivo se presentan *Acaena elongata* y *Roldana barba-johannis*. El estrato herbáceo tiene como componentes a *Castilleja arvensis*, *Senecio toluccanus*, *Festuca amplissima*, *Fragaria mexicana* y *Geranium seemannii* (geranio). Esta comunidad se distribuye en altitudes que van desde 3 130 hasta 3 370 msnm, sobre pendientes abruptas que oscilan entre 40 y 60% de inclinación (Fig. 8).



Figura 8. Comunidad de *Abies religiosa*-*Senecio cinerarioides* en la cuenca del río Magdalena, CDMX. (Foto: Verónica Aguilar).

**Figura 8**

### **Bosque mixto y de *Quercus***

Se distribuye a altitudes de entre 2 400 y 3 300 msnm y se localiza en la parte baja y media de la cuenca, con una superficie de 166.8 ha., que corresponde a 6% de la superficie total de la CRM. Los bosques de

*Quercus* o encino, son bosques densos, que se distribuyen en la parte baja de la cuenca, entre los 2 470 y 3 100 msnm, contiguos a la zona urbana. Se desarrollan sobre pendientes muy pronunciadas, de entre 10 y 75% de inclinación, en suelos de tipo Andosol.

El estrato arbóreo presenta hasta 90% de cobertura, seguido por el estrato arbustivo que varía entre 2 y 60% de cobertura. El estrato herbáceo llega a presentar coberturas de hasta 90%, en contraste con el estrato rasante, de menor importancia, con coberturas no mayores a 10%. Estas coberturas reflejan que este bosque alcanza un porcentaje promedio de cobertura vegetal de 90% (Fig. 9).



Figura 9. Bosque mixto y de *Quercus* en la cuenca del río Magdalena, comx. (Foto: Verónica Aguilar).

### Figura 9

Este bosque presenta un estrato arbóreo dominante conformado por la mezcla de especies dentro de las que destacan *Quercus rugosa* (encino blanco liso), *Q. laurina* (encino colorado, chilillo), *Alnus jorullensis* ssp. *zorullensis*, *Pinus patula* (pino llorón), *P. pseudostrobus* (pino), *Abies religiosa*, *Arbutus xalapensis* (madroño) y *Cupressus lusitanica*. El estrato arbustivo se encuentra representado por: *Cestrum thyrsoideum* (hierba del zopilote), *Ageratina petiolaris* y *Verbesina oncophora*. Dentro del herbáceo se encuentran *Adiantum andicola* (culantrillo), *Castilleja*

*arvensis* (cola de borrego), *C. tenuiflora* y *Salvia polystachia* (mirto azul).

En este tipo de bosque existen tres comunidades vegetales: a) *Abies religiosa-Quercus laurina*; b) *Quercus laurina-Quercus rugosa*; c) *Pinus patula-Cupressus lusitanica-Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis*. Otras especies que acompañan son *Cestrum thyrsoideum*, *Ageratina petiolaris* y *Verbesina oncophora*, en el estrato arbustivo, y *Adiantum andicola*, *Castilleja arvensis*, *C. tenuiflora* y *Salvia polystachia* en el estrato herbáceo.

### **Comunidad de *Quercus laurina-Abies religiosa***

Presenta una cobertura promedio de vegetación de 90%. Se caracteriza porque el estrato de árboles está dominado por *Quercus laurina*, con coberturas de entre 10 y 30% y por *Abies religiosa*, con coberturas de hasta 40%. La cobertura máxima del estrato arbustivo y herbáceo es de 40% y 30%, respectivamente, mientras que el estrato rasante es el menos representativo. Otras que comparten el dosel, pero que presentan una menor cobertura son *Arbutus xalapensis*, *Prunus serotina* var. *capulli* (capulín), *Quercus crassipes* y *Q. obtusata*. Por su parte, en el estrato de arbustos destacan *Fuchsia thymifolia* ssp. *thymifolia* (aretillo de la virgen) y *Solanum cervantesii*, y en el herbáceo se encuentra *Salvia polystachia* (mirto azul). Esta comunidad se desarrolla en altitudes de entre 2 800 y 2 990 msnm, y sobre pendientes pronunciadas, con un mínimo de 40% y un máximo de 75% de inclinación (Fig. 10).



Figura 10. Comunidad de *Quercus laurina*-*Abies religiosa* en la cuenca del río Magdalena, comx. (Foto: Verónica Aguilar).

### Figura 10

#### Comunidad de *Quercus laurina*-*Quercus rugosa*

Presenta un promedio de cobertura vegetal de 80%. Se caracteriza por presentar un estrato arbóreo cerrado, con coberturas de entre el 70 y 90%, dominado por *Quercus laurina* (encino chilillo) y *Q. rugosa* (encino blanco liso), con coberturas máximas de entre 50 y 80%, respectivamente. Los estratos arbustivo y herbáceo, presentan coberturas no mayores a 10%, en tanto que el rasante es el menos representativo (Fig. 11).



Figura 11. Comunidad de *Quercus laurina*-*Quercus rugosa* en la cuenca del río Magdalena, CDMX.  
(Foto: Verónica Aguilar).

### Figura 11

Tiene un estrato arbóreo inferior, donde las especies *Garrya laurifolia* (aguacatillo), *Clethra mexicana* (zapotillo, mamojuaxtle) y *Meliosma dentata* son características. En el estrato herbáceo se encuentran *Adiantum andicola* (helecho), *Conopholis alpina* (elotillo, parásita de raíces de encino) y *Duchesnea indica* (fresa). Por su parte, *Fuchsia microphylla* ssp. *microphylla* (aretillo) es la principal representante para el arbustivo. Esta comunidad se distribuye entre 2 470 y 2 870 msnm, sobre pendientes abruptas, con un máximo de inclinación de 70%.

### Comunidad de *Pinus patula*–*Cupressus lusitanica*–*Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis*

Se caracteriza porque la cobertura vegetal alcanza 90% de cobertura. El estrato de árboles cubre como máximo 80% y en él predominan las especies *Pinus patula*, *Cupressus lusitanica* y *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis*, cada una con coberturas de hasta 50%, 80% y 50%, respectivamente. Por su parte, el estrato herbáceo cubre 90% de la superficie, mientras que el de arbustos alcanza hasta 60%. El estrato rasante no es importante.

En el estrato arbóreo, son comunes *Pinus pseudostrobus* y *Furcraea*



*bedinghausii* (shishé, palmita). En el estrato herbáceo *Castilleja tenuiflora*, *Eryngium proteiflorum* (cardo santo), *Fragaria mexicana*, *Muhlenbergia macroura* (zacatón), *Physalis coztomatl* (tomatillo) y *Salvia elegans*. Finalmente, en el estrato arbustivo *Cestrum thyrsoideum*, *Ageratina petiolaris* (hierba del ángel) y *Verbesina oncophora*. Esta comunidad usualmente se distribuye en altitudes de entre 2 820 y 3 200 msnm, en pendientes pronunciadas, cuya inclinación máxima es de 75% (Fig. 12).



**Figura 12**

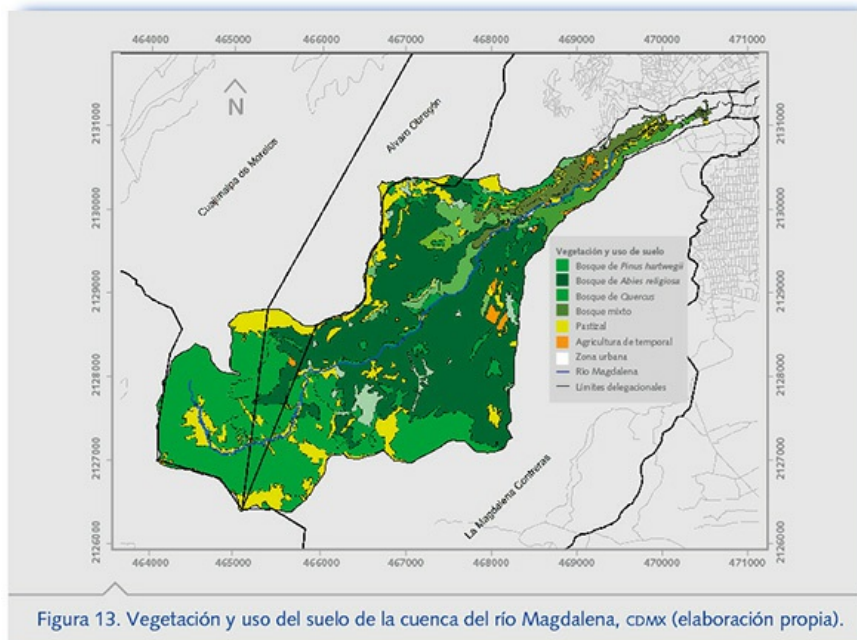
### *Especies acompañantes*

Existen especies que acompañan todo el gradiente altitudinal y que se encuentran en los tres tipos de bosque, como *Baccharis conferta* (escobilla), *Ageratina petiolaris*, *Buddleia cordata* (tepozán) y *Alchemilla procumbens* (chilillo).

### *Análisis cartográfico*

Cartográficamente se identificaron dos tipos de cobertura boscosa, la de los bosques conservados, con una superficie de 1 997.9 ha (67%) y la de los deteriorados con una superficie de 399.1 ha (13%). El 20% restante corresponde a otras categorías de vegetación y uso del suelo (PUEC-

UNAM, 2008) (Tabla 3). Los bosques conservados en orden de importancia por la superficie que ocupan son el de *Abies religiosa* (1 130 ha), el de *Pinus hartwegii* (607 ha) y el de *Quercus* (68 ha). Dentro de los bosques deteriorados se encuentran el de *Abies religiosa*-pastizal inducido, el de *Abies religiosa*-vegetación secundaria, el de *Pinus hartwegii*-pastizal, el de *Quercus*-pastizal inducido, el mixto-pastizal inducido y el mixto-vegetación secundaria. Además, se reconocieron pastizales, manchones pequeños de matorral de *Furcraea bedinghausii* y otros usos como plantaciones forestales, agricultura y asentamientos humanos (Tabla 3 y Fig. 13). En la tabla 4 se presentan todas las categorías de vegetación y uso de suelo y la superficie que cubren.



**Figura 13**

**Tabla 3**

Tabla 3. Superficie que ocupan los bosques conservados y deteriorados, así como otros usos del suelo en la cuenca del río Magdalena, CDMX (elaboración propia).

COBERTURA	SUPERFICIE EN (ha)	%
Bosques conservados	1 997.9	66.7
Bosques perturbados	399.1	13.3
Pastizal inducido con bosque	290.8	9.7
Pastizal inducido	189.3	6.3
Poblados	90.4	3.0
Agricultura de temporal	21.9	0.7
<b>Superficie total</b>	<b>2 993.2</b>	<b>100.0</b>

Tabla 4

Tabla 4. Superficie de vegetación y uso del suelo en la cuenca del río Magdalena, CDMX (elaboración propia).

COBERTURA	SUPERFICIE EN (ha)	%
Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>	607.4	20.3
Bosque de <i>Pinus</i> con <i>Abies religiosa</i>	13.7	0.5
Bosque de <i>Abies religiosa</i>	1 130.3	37.8
Bosque de <i>Abies religiosa</i> con <i>Pinus</i>	79.4	2.7
Bosque de <i>Quercus</i>	68.7	2.3
Bosque mixto	98.4	3.3
Bosque cultivado	6.2	0.2
Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> con Pastizal	155.3	5.2
Bosque de <i>Abies religiosa</i> con Pastizal inducido	30.5	1.0
Bosque de <i>Abies religiosa</i> con vegetación secundaria	149.5	5.0
Bosque de <i>Quercus</i> con Pastizal inducido	2.9	0.1
Bosque de <i>Quercus</i> con vegetación secundaria y Pastizal	21.2	0.7
Bosque mixto con Pastizal inducido	0.9	0.0
Bosque mixto con vegetación secundaria	32.5	1.1
Matorral ( <i>Furcraea</i> )	3.8	0.1
Pastizal	83.2	2.8
Pastizal inducido	106.1	3.5
Pastizal con bosque de <i>Pinus hartwegii</i>	157.3	5.3
Pastizal inducido con bosque de <i>Abies religiosa</i>	70.9	2.4
Pastizal inducido con bosque de <i>Quercus</i>	1.9	0.1
Vegetación secundaria con bosque de <i>Abies religiosa</i>	60.8	2.0
Agricultura de temporal	21.9	0.7
Asentamientos humanos	4.7	0.2
Zona urbana	85.7	2.9
<b>SUPERFICIE TOTAL</b>	<b>2 993.2</b>	<b>100</b>

## Discusión

La CRM tiene una buena representación de los bosques de *Pinus hartwegii*, *Abies religiosa*, los mixtos y de *Quercus*, que son los más importantes dentro de las comunidades templadas subhúmedas en México. Este mosaico de vegetación es muy similar a lo reportado por diversos

autores para las montañas que rodean la cuenca de México. En el área estudiada, por arriba de 3 300 m de altitud, el bosque de *Pinus hartwegii* es el dominante fisonómico y estructural. Esto concuerda con los resultados encontrados para la Sierra Nevada (Sánchez-González y López-Mata, 2003), el volcán Popocatepetl (Ern, 1976; Almeida-Leñero, 1997), los volcanes Tláloc y Pelado (Velázquez y Cleef, 1993), el volcán Ajusco (Álvarez del Castillo, 1987) y el Nevado de Toluca (Villers-Ruiz *et al.*, 1998).

La dominancia de los géneros *Festuca*, *Calamagrostis* y *Muhlenbergia* (este último reportado como indicador de incendios; Obieta y Sarukhán, 1981; Quintanilla y Castro, 1998); Flores-Rodríguez, 2006, son los componentes más característicos del estrato herbáceo y coinciden con lo establecido por Rzedowski (1975), para las montañas que rodean la cuenca de México y por Álvarez del Castillo (1987) para los bosques de la Sierra del Ajusco. Siguiendo el gradiente altitudinal, por debajo de 3 500 y hasta 2 800 msnm, se localiza el bosque de *Abies religiosa*, cuyo intervalo de distribución resulta más amplio al reportado, tanto para los volcanes Tláloc y Pelado, como para la Sierra Nevada, al sur de la CM (Velázquez y Cleef, 1993; Sánchez-González y López-Mata, 2003). El bosque de *Abies religiosa* es el bosque más extenso de la CRM, con casi 48% de la superficie de la zona de estudio. Se le considera una formación homogénea por las coberturas arbóreas; sin embargo, el bosque de *Abies religiosa* típico, caracterizado por un estrato arbustivo escaso y uno rasante evidente por la presencia de musgos (Almeida-Leñero, 1997), no coincide con el descrito en este trabajo, donde las coberturas de los estratos herbáceo y rasante son reducidas. Para el caso particular de la CRM, el estrato arbustivo se encuentra representado principalmente por *Roldana angulifolia*, *Acaena elongata* y *Senecio cinerarioides*, lo que coincide con las descripciones de Madrigal (1967) y Gómez (2003). Cabe destacar, que *Acaena elongata* y *Senecio cinerarioides* son especies indicadoras de perturbación por pastoreo e incendios, respectivamente (Madrigal, 1967; Rzedowski y Rzedowski, 2001; Flores-Rodríguez, 2006; Nava-López, 2006).

*Senecio cinerarioides* (jarilla blanca), de acuerdo con Madrigal (1967), es importante dentro del proceso de sucesión del bosque de *Abies*

*religiosa*, cuando éste ha sido modificado por incendios. Nava-López (2006) encontró que esta comunidad vegetal se presenta con baja densidad arbórea y altos índices de individuos arbóreos muertos en pie, como resultado de los incendios forestales (Flores-Rodríguez, 2006). El bosque de *Abies religiosa* se presenta, tanto en zonas bien conservadas como deterioradas, lo que coincide con las áreas identificadas con baja autenticidad forestal para la misma zona de estudio por Ávila-Akerberg (2004).

De acuerdo con Rzedowski (1978) y Álvarez del Castillo (1987), los bosques de *Abies religiosa*, aun cuando no cubren grandes superficies, sobresalen en el conjunto de las comunidades vegetales dominadas por coníferas por su majestuosidad y belleza. En la CRM el bosque de *Abies religiosa* es el dominante fisonómico, con una masa forestal densa y de gran atractivo estético.

En la parte más baja de la CRM se encuentran los bosques de *Quercus* o encinares. Estas son comunidades vegetales que guardan relaciones complejas con los bosques de pino, con los que comparten afinidades ecológicas. México es el país con el mayor número de especies de pinos en el mundo y de entre los de mayor riqueza para encinos. Los encinos pueden formar masas densas y puras, como la de *Quercus laurina* y *Quercus rugosa* registrada para la CRM, pero es muy frecuente que los bosques de *Quercus* compartan el estrato arbóreo con varias especies, tanto del mismo género como de otros, por lo que es común encontrar encinares en asociación con *Abies*, *Pinus* y con especies del bosque mesófilo de montaña (Rzedowski, 1978; Rzedowski y Rzedowski, 2001).

Lo anterior coincide con lo descrito para la CRM, en donde los bosques mixtos y de *Quercus*, son de las comunidades más complejas en cuanto a la composición y dominancia florística, ya que en esta categoría se incluyen ciertos elementos del bosque mesófilo de montaña (*sensu* Rzedowski, 1970), como la comunidad de *Pinus patula-Cupressus lusitanica-Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* y la de *Abies religiosa-Quercus laurina*. También es la comunidad con el mayor número de especies ruderales y arvenses (26; Espinosa y Sarukhán, 1997), lo cual es de esperarse ya que se distribuye en la zona más cercana a la mancha urbana.

La figura 14 muestra un diagrama de clasificación jerárquica de las comunidades vegetales de la CRM con base en su composición florística. Este diagrama reúne en un grupo a la comunidad de *Abies religiosa*, con la comunidad de *Abies religiosa-Quercus laurina*, formando un ecotono entre ellas, lo que coincide con lo descrito por Madrigal (1967), Hernández (1990) y Gómez (2003).

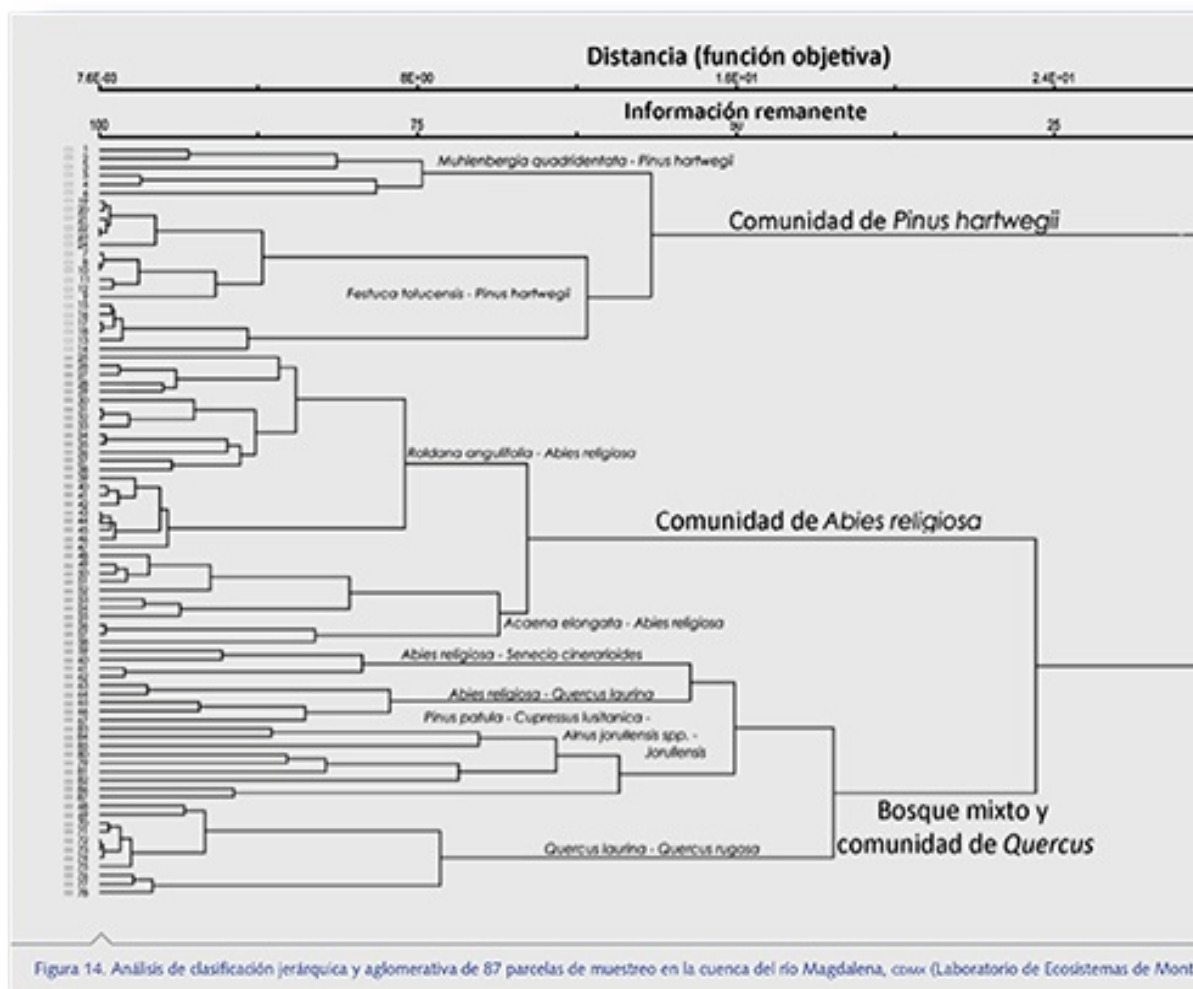


Figura 14

La comunidad de *Pinus patula-Cupressus lusitanica-Alnus jorullensis* ssp. *zorullensis* presenta una gran diversidad de árboles. Por sus elementos florísticos, esta comunidad puede ser comparada con el bosque mesófilo de montaña descrito por Rzedowski y Rzedowski (2001) y Rzedowski (1970). Sin embargo, en este trabajo no se define esta categoría ya que sólo se presentan algunos de los elementos característicos del bosque mesófilo de montaña, como las especies *Alnus jorullensis* ssp. *zorullensis*, *Garrya laurifolia* y *Clethra mexicana*, en rodales de poca extensión y

frecuencia. La disminución en la cobertura vegetal de los elementos del bosque mesófilo de montaña, puede ser resultado de la presión ejercida por las actividades humanas, así como de las variaciones climáticas actuales (Villers Ruiz y Trejo-Vázquez, 1998).

La CRM ocupa 4% del Suelo de Conservación de la Ciudad de México, a pesar de ello y debido al crecimiento acelerado de la población en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, los bosques de la CRM se han visto fuertemente reducidos (Ezcurra, 1990; CORENADER, 2003.) en tanto que la zona urbana ha ido ganando terreno sobre el área protegida. Los bosques conservados de la CRM cubren más del 60% de la superficie total de la cuenca, lo que indica que la zona se encuentra ligeramente bien conservada, mientras que los bosques con algún grado de deterioro cubren aproximadamente el 13% de la cuenca. Esto es consecuencia de la demanda creciente de servicios y el cambio en el uso de suelo, por el desmonte, el pastoreo, la tala, los incendios forestales y la extracción desmedida de agua y de algunas especies. Estas actividades favorecen los procesos erosivos, la modificación de los regímenes hidrológicos y la contaminación del aire y del agua, y han provocado una pérdida considerable en la cobertura forestal y de los beneficios que proporcionan los servicios ecosistémicos a la ciudad (Almeida *et al.*, 2007).

Este estudio es un diagnóstico inicial de la vegetación en el área de estudio y ha sido la base para estudios posteriores en la zona, que abordan temas como la provisión de servicios ecosistémicos, los procesos de cambio climático y proyectos de restauración. Asimismo, esta base de información ha permitido proponer alternativas de manejo en el Plan Maestro del río Magdalena, (SMA-GDF, 2008).

### **Agradecimientos**

A H. Vibrans por los comentarios al manuscrito, a P. Hernández por el apoyo en la edición, a O. Gómez por la ayuda en la elaboración de las figuras.

### **Literatura citada**

Almeida-Leñero L., 1997. *Vegetación, fitogeografía y paleoecología del zacatonal alpino y bosques montanos de la región central de México*. Tesis de doctorado. University of Amsterdam.

- Almeida-Leñero L., *et al.*, 2007. Servicios Ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta Ecológica del Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT* Número especial, pp. 84-85.
- Álvarez del Castillo, C., 1987. La vegetación de la Sierra del Ajusco. *Cuaderno de Trabajo* 33. México: Departamento de Prehistoria, Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Ávila-Akerberg, V., 2002. *La vegetación en la cuenca alta del río Magdalena: un enfoque florístico, fitosociológico y estructural*. Tesis de Licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ávila-Akerberg, V., 2004. *Autenticidad de los bosques en la cuenca alta del río Magdalena. Diagnóstico hacia la restauración ecológica*. Tesis de Maestría en Restauración Ecológica. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ávila-Akerberg, V., *et al.*, 2008. Refugio de fitodiversidad en la Ciudad de México, el caso de la cuenca del río Magdalena. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 2, pp. 605-619.
- Ávila-Akerberg, V., 2010. Forest quality in the southwest of Mexico City. Assessment towards ecological restoration of ecosystem services. *Culterra*, Band 56, pp. 200. ISBN 3-933390-39-7.
- Beetle, A.A., 1983. *Las Gramíneas de México 1*. México. Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero-SARH.
- Beetle, A.A., 1987. *Las Gramíneas de México 2*. México. Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero-SARH.
- Braun-Blanquet, J., 1932. *Plant sociology, the study of plant communities*. New York: McGraw Hill.
- CORENADER., 2003. *El Suelo de Conservación del Distrito Federal*. Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural, Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal.
- Ern, H., 1976. Descripción de la vegetación montañosa de los estados mexicanos de Puebla y Tlaxcala. *Willdenowia*, 10, pp.1-128.
- Espinosa, G.F.J. y Sarukhán, J., 1997. *Manual de malezas del Valle de*



- México. México: Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica.
- Ezcurra, E., 1990. *De las chinampas a la megalópolis: el medio ambiente en la cuenca de México*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Flores-Rodríguez, A., 2006. *Frecuencia de incendios forestales, su relación con la precipitación y la riqueza de especies vegetales, en la cuenca del río Magdalena, D. F., México*. Tesis de Licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Gómez, G., 2003. *Estado del conocimiento de Abies religiosa (H.B.K.) Schl. et Cham.* Tesis de Licenciatura en Ciencias Forestales. México. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México.
- Hernández, O.P., 1990. *Modelos de incremento de altura en cinco especies de coníferas en Atenquique, Jalisco*. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. México. Colegio de Postgraduados, Chapingo.
- Hernández-Sánchez, A.P., 2012. *Distribución y nivel de infestación de Arceuthobium vaginatum subsp. vaginatum y Arceuthobium globosum subsp. grandicaule en el bosque de Pinus hartwegii de la cuenca del río Magdalena, México, D. F.* Tesis de maestría en Ciencias Biológicas. México. Facultad de Ciencias. UNAM.
- Madrigal, S.X., 1967. *Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (Abies religiosa H.B.K., Sch. et Cham.) en el Valle de México*. México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales.
- McCune, B. y Mefford, M.J., 1999. *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data*. Gleneden Beach, Oregon: MjM Software Design.
- Mueller-Dombois, D. y Elleberg, H., 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. Nueva York: John Wiley and Sons.
- Nava-López, M., 2006. *Carbono almacenado como servicio ecosistémico y criterios de restauración, en el bosque de Abies religiosa de la cuenca del río Magdalena, D.F.* Tesis de Maestría en Restauración Ecológica. México. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Obieta, M.C. y Sarukhán, J., 1981. Estructura y composición de la vegetación herbácea de un bosque uniespecífico de *Pinus hartwegii* Lindl. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 41, pp. 75-125.
- PUEC-UNAM., 2008. Propuesta de diagnóstico integrado de la cuenca del río Magdalena. In: *Plan Maestro de Manejo Integral y*

- Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena*. SMA-GDF, UNAM.
- Quintanilla, V. y Castro, R., 1998. Seguimiento de las cubiertas vegetales post-incendios forestales en la zona mediterránea costera de Chile. *Serie Geográfica. Incendios forestales. Departamento de Geografía y el servicio de publicación de la Universidad de Alcalá*. pp. 147-154.
- Rzedowski, J., 1970. Notas sobre el Bosque Mesófilo de Montaña en el Valle de México. México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, I.P.N.*, 18, pp. 91-106.
- Rzedowski, J., 1975. Flora y vegetación de la cuenca del Valle de México. En: *Memoria de las obras del drenaje profundo del Distrito Federal*, Tomo I. México. pp. 81-134.
- Rzedowski, J., 1978. *Vegetación de México*. México: Limusa.
- Rzedowski, J., 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerógimica de México. *Acta Botánica Mexicana*, 14, pp. 3-21.
- Rzedowski de, G.C. y Rzedowski, J. ed., 2001. *Flora fanerógimica del Valle de México*. Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán.
- Rzedowski, J., 2006. *Vegetación de México* (Primera edición digital). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. Disponible en:  
<http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Vegetacion>
- Sánchez-González, A. y López-Mata, L., 2003. Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica*, 74, pp. 47-71.
- Sarukhán, J., y Dirzo, R., 2001. Biodiversity-rich countries, En: S.A. Levin, ed. *Encyclopedia of biodiversity, vol. 1*. San Diego: Academic Press. pp. 419-436.
- SMA-GDF (Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal), 2008. *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena*. México. Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal, Universidad Nacional Autónoma de México (SMA-GDF y UNAM).
- Toledo V.M. y Ordóñez, M.J., 1998. El panorama de la biodiversidad de

- México: una revisión de los hábitats terrestres. En: T.P. Ramamoorthy, *et al.*, eds. *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. México: Instituto de Biología, UNAM. pp. 739-757.
- Tropicos.org., 2007. Missouri Botanical Garden. Disponible en: <http://www.tropicos.org>.
- Velázquez, A. y Cleef, A.M., 1993. The plant communities of the volcanoes “Tlálloc” and “Pelado”, México. *Phytocoenologia*, 22, pp. 145-192.
- Villers Ruiz, L., García del Valle, L. y López-Blanco, J., 1998. Evaluación de los bosques templados de México: una aplicación en el Parque Nevado de Toluca. *Investigaciones Geográficas Boletín*, 36, pp. 7-19.
- Villers Ruiz, L. y Trejo-Vázquez, I., 1998. Impacto del cambio climático en los bosques y áreas naturales protegidas de México. *Interciencia*, 23, pp. 10-19.
- 

<sup>1</sup> Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.

\*Autor de correspondencia: [vicaviak@gmail.com](mailto:vicaviak@gmail.com)

## MUÉRDAGOS ENANOS: PLANTAS PARÁSITAS QUE AFECTAN EL BOSQUE DE *PINUS HARTWEGII* DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

Amabel Paula Hernández-Sánchez<sup>1\*</sup> y Lucía Almeida-Leñero<sup>1</sup>

### Introducción

Los bosques están expuestos a diversas enfermedades que pueden causar la muerte de los árboles o reducir su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos (FAO, 2006). Uno de los principales problemas de salud forestal es la presencia de plantas parásitas, que son consideradas patógenas, ya que parasitan a otras plantas para poder cubrir sus necesidades energéticas, de lo que resultan daños de tipo mecánico o fisiológico a los hospedantes (Arauz, 1998). De las 250 mil especies de angiospermas conocidas en el mundo, solo aproximadamente 1% son parásitas (Díaz y López, 2008). Los datos oficiales y más recientes acerca de la superficie afectada por plagas forestales son los de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), publicados en el *Compendio de estadísticas ambientales 2012*. En dicho compendio se menciona que en el año 2011 a nivel nacional, se diagnosticaron 36 768 ha afectadas por plantas parásitas. En el caso de la Ciudad de México, 692 ha que presentaron este problema (SEMARNAT, 2013).

Un ejemplo de plantas parásitas son las comúnmente llamadas “muérdago enano” o “flor de ocote”, las cuales, por lo general, son plantas pequeñas, de hasta 70 cm, con hojas reducidas a escamas y tallos con coloraciones verdes, amarillas, cafés, rojas o negras; asimismo, presentan texturas quebradizas, lisas y brillantes. Las flores, tanto masculinas como femeninas, miden pocos milímetros. Los frutos tienen un mecanismo de dispersión explosivo que permite a la semilla viajar distancias de hasta 17 m, la cual está impregnada de una sustancia mucilaginosa que le permite adherirse a las ramas de sus hospedantes. Cuentan con un sistema endofítico muy desarrollado, por donde toman nutrientes, agua y minerales de los árboles que parasitan (Vázquez *et al.*, 2006; Cibrián *et al.*, 2007). En México, los muérdagos son la tercera causa de

degradación de bosques templados, después de los incendios e insectos descortezadores (Caballero, 1970, citado en: Vázquez *et al.*, 2006).

Dos ejemplos de especies de muérdago enano son: *Arceuthobium vaginatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) J. Presl. subsp. *vaginatum*, llamada comúnmente muérdago enano negro (Fig. 1), que se distribuye de los 2 100 a los 3 900 msnm y *Arceuthobium globosum* Hawksw. & Wiens subsp. *grandicaule* Hawksw. & Wiens, llamada comúnmente muérdago enano verde (Fig. 2) y que se distribuye de los 2 450 a los 4 000 msnm; ambas especies reciben ese nombre común debido al tamaño y a la coloración de los tallos. Las dos especies parasitan a *Pinus hartwegii* Lindl y pueden encontrarse en los bosques templados de varios estados del país (Vázquez *et al.*, 2006; Cibrián *et al.*, 2007).



Figura 1. *Arceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum* (muérdago enano negro). (Foto: Verónica Aguilar).

**Figura 1**



**Figura 2**

A nivel de individuo, los hospedantes de muérdago enano, durante la infección, presentan diversos signos, como cambios en la forma y reducción en la producción de conos; alteración en la cantidad y calidad de la semilla y en el crecimiento, tanto en altura como en volumen; cambios en la calidad de la madera; decremento de vigor; formación de escobas de bruja (aparición de las ramas) y predisposición al ataque de insectos y de otras enfermedades. Estos signos, a su vez, se ven influidos por varios factores, como la edad del hospedante, la competencia y el clima. Incluso, la infección puede ocasionarles la muerte (Geils y Hawksworth, 2002; Vázquez *et al.*, 2006). A nivel de ecosistema, se ha encontrado que la presencia de las plantas hemiparásitas reduce fuertemente tanto la biomasa como la productividad total del bosque (Matthies y Egli, 1999).

Por lo regular, el manejo de estas plantas hemiparásitas se lleva a cabo con medidas de control silvícola, químico y biológico (Vázquez *et al.*, 2006; Cibrián *et al.*, 2007; CONAFOR, 2010). El primero consiste en la realización de podas de las ramas infectadas y en la remoción de árboles de acuerdo a una previa evaluación del nivel de infección de los rodales plagados; para esto, se utiliza el sistema de seis clases de Hawksworth (1977) aceptado como estándar en Estados Unidos, Canadá y México. Las clases de infección son seis: “uno” y “dos” se considera infección leve, “tres” y “cuatro” moderada y “cinco” y “seis” infección severa. Las clases

“uno”, “dos” y “tres” tienen poco o nulo impacto en el crecimiento de árboles grandes; las clases “cuatro”, “cinco” y “seis” disminuyen el crecimiento y vigor de los árboles, por lo tanto, existe el riesgo de que éstos puedan morir. En cuanto a los brinzales y arbolado joven pueden encontrarse afectados seriamente en las clases “uno”, “dos” y “tres” (Vázquez *et al.*, 2006; Cibrián *et al.*, 2007). El sistema de Hawksworth es usado actualmente por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en sus prácticas de saneamiento en los bosques del país. Por lo regular, se recomienda hacer podas cada dos años en rodales con infección leve y moderada. En el caso de árboles con infección severa en la copa o en el tronco se recomienda su remoción (CONAFOR, 2010).

El control químico consiste en la aplicación del ácido 2 (cloroetil) fosfónico (Ethrel o Etephon®), el cual es un regulador de crecimiento que al ser absorbido por el muérdago, se descompone y libera acetileno. Después de 10 días de la aplicación, la parte aérea del muérdago se cae, pero no elimina el sistema endófito, por lo que a los seis meses la planta vuelve a brotar. Esta sustancia solo es aplicable al arbolado joven y renuevo. En Michoacán y en el Estado de México se ha logrado el control de *A. globosum* con este químico (Vázquez *et al.*, 2006).

En cuanto al control biológico, se ha usado un producto orgánico constituido a base de polvo de diatomeas llamado Muérdago Killer®, el cual actúa alterando el proceso de respiración y de la permeabilidad de la membrana celular en la fotosíntesis e inhibiendo la división celular y la síntesis de clorofila en las plantas de muérdago. Coria *et al.* (2011) mencionan que con este producto se obtienen resultados muy parecidos a los que se consiguen con Etephon®, ya que se logra la supresión de la parte aérea de *A. globosum* subsp. *grandicaule* (muerte del área foliar a los 15 días y caída de toda la parte aérea a los 45 días).

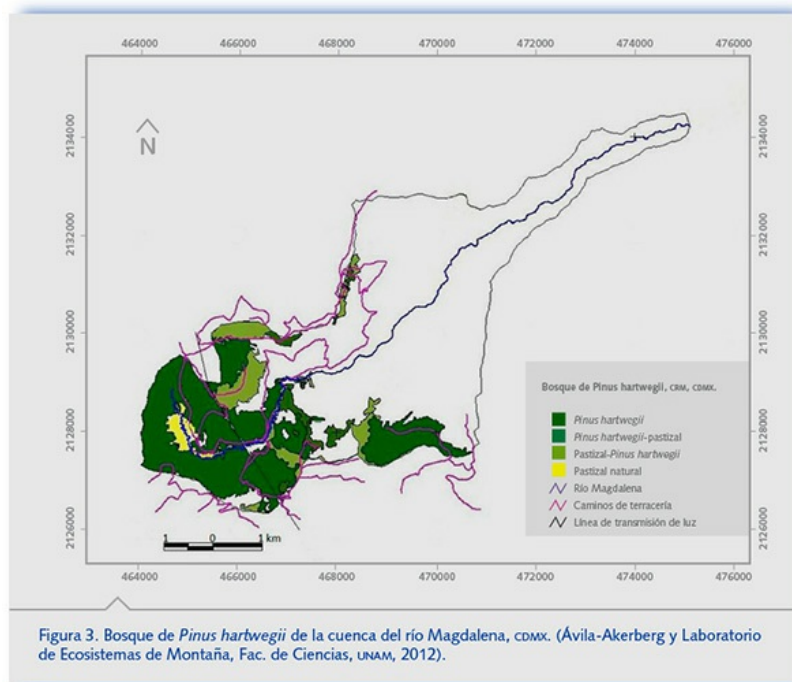
Algunos de los estudios ecológicos sobre el muérdago enano se enfocan en conocer la incidencia, las características de los hospedantes (Hernández-Benítez *et al.*, 2005; Queijeiro, 2007) y la abundancia relativa (Hernández-Sánchez, 2012). Pocos hablan

sobre la prevención y el control de este tipo de plantas (Coria *et al.*, 2011) y sobre variables relacionadas con su distribución (Queijeiro, 2007; Ramírez y Porcayo, 2010; Hernández-Sánchez, 2012). Hasta el momento no se encontraron estudios académicos que señalen cifras de hectáreas infectadas por plantas parásitas en algún bosque templado de la Ciudad de México ni del país. El objetivo de este estudio es conocer la superficie afectada por muérdago enano en el bosque de *Pinus hartwegii* de la CRM y así tener un primer acercamiento a dicha problemática en la zona.

### **Método**

El bosque de *Pinus hartwegii* de la CRM abarca 1 018 ha (Fig. 3), es monoespecífico, ya que 80% de los individuos del estrato arbóreo son de esta especie. Se distribuye de los 3 300 a los 3 870 msnm, se concentra en la zona SO de la CRM y en pequeñas áreas hacia sus límites N, NO y SE. Se presenta en pendientes de hasta 65%, aunque es más común en las menores al 15%; Ávila-Akerberg (2004), Espinoza (2005), Ávila-Akerberg (2010) dividen al bosque en tres comunidades (Fig. 3): 1) *P. hartwegii* con cobertura de pinos mayor a 66%, se distribuye en elevaciones que van desde arriba de los 3 300 msnm hasta los 3 870 msnm; abarca 676 ha 2) *P. hartwegii*-pastizal, con una cobertura de pinos de entre 33 y 66%, se distribuye de los 3 300 a los 3 800 msnm y ocupa 152 ha y 3) pastizal-*P. hartwegii*, con una cobertura de pinos menor a 33%, se distribuye entre los 3 425 y los 3 750 msnm y comprende 190 ha.





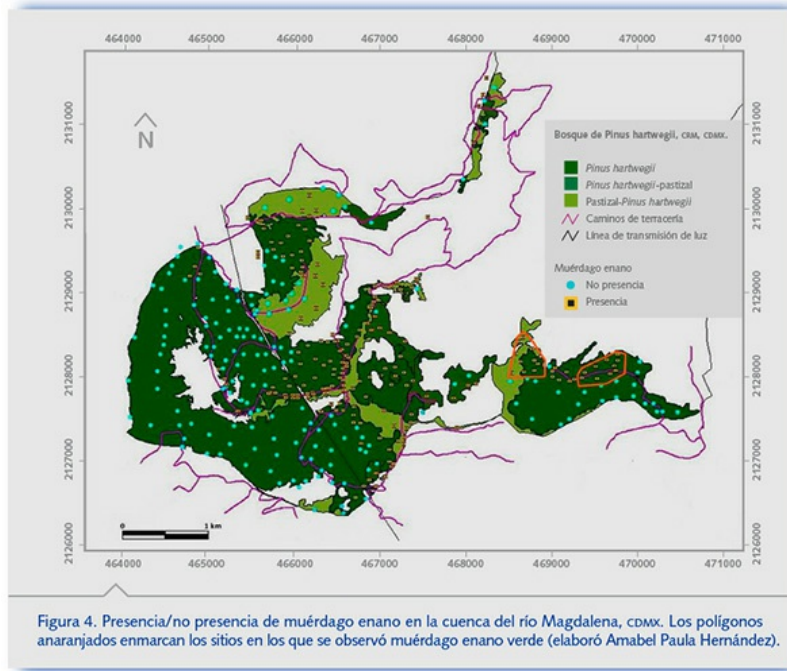
**Figura 3**

Para identificar las áreas afectadas con muérdago enano se hicieron recorridos a pie dentro del bosque de pino de la CRM, de agosto de 2010 a octubre de 2011, durante los cuales se anotó, en los 464 sitios seleccionados aleatoriamente, la localización geográfica, la presencia o no presencia de muérdago enano y en caso de presencia se registró la especie. Para generar el mapa de distribución actual de muérdago enano, los puntos de presencia o no presencia se incluyeron en el sistema de información geográfica (SIG) ArcView 3.2 (ESRI 1998). El mapa de interpolación se realizó en el mismo SIG, a partir de la construcción de polígonos de Thiessen, alrededor de los puntos de presencia y no presencia de muérdago enano, como una simple aproximación para conocer el área infestada. Los polígonos de Thiessen son áreas individuales de influencia a cada elemento puntual, de manera que los límites de cada polígono son equidistantes a los puntos vecinos. Dichos polígonos son una construcción teórica que no toma en cuenta factores como el relieve, el cual en la mayoría de las veces influyen en la distribución de las especies (Fortin y Thomas, 2005).

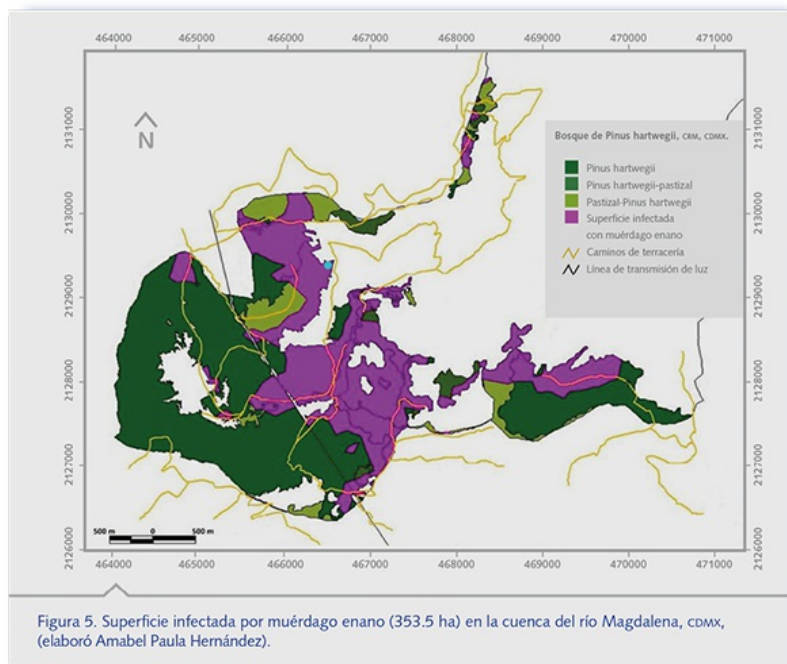
### Resultados y discusión

Se observó muérdago enano negro en 221 sitios y sólo en 20 sitios al muérdago enano verde (Fig. 4). No se encontraron sitios donde coexistan

ambas especies y en ninguno de los sitios se observó la presencia de algún otro patógeno. La superficie infectada por muérdago enano se muestra en el mapa de interpolación (Fig. 5). El 35% del bosque (353.5 ha) se encuentra afectado, en 319.6 ha está presente el muérdago enano negro y en 33.9 ha el muérdago enano verde.



**Figura 4**



**Figura 5**

La apertura natural del dosel o la derivada de actividades humanas

como la tala inmoderada, aclareos o apertura de caminos, son algunas de las variables que influyen en la presencia del muérdago enano en el bosque de pino de la CRM, de acuerdo con Hernández-Sánchez (2012).

Cabe resaltar que, el muérdago enano, a pesar de ser considerado una plaga que provoca el declinamiento de los bosques de pino, es una planta que forma parte integral de los bosques templados (Vázquez *et al.*, 2006), presenta diversas interacciones con varias especies de artrópodos (Chávez-Salcedo, 2013), aves y mamíferos (Shaw *et al.*, 2004), e incluso con el humano, ya que el muérdago enano negro ha sido empleado en la medicina tradicional para el control de la diabetes (Andrade-Cetto y Heinrich, 2005) y para curar enfermedades reumáticas, dolor de pulmones y tos (Martínez, 1958; González *et al.*, 2004). En la CRM, es una de las plantas más conocidas, usadas y valoradas por la comunidad Magdalena Atlitic para tratar infecciones respiratorias. El té que se obtiene a partir del cocimiento de sus tallos, se consume de forma oral. Incluso su extracto vegetal presenta actividad antimicrobiana sobre *Streptococcus mutans* y *Streptococcus pyogenes*, bacterias que provocan caries y faringitis respectivamente (Hernández-Sánchez, 2009). El muérdago enano verde se emplea en la medicina tradicional para tratar la tos (Rzedowski *et al.*, 2001), aunque en el estudio de Hernández-Sánchez (2009) realizado en la CRM, no se registró ningún uso de esta especie.

La información cartográfica permite conocer con detalle la distribución de estas plantas en la zona de estudio y facilita la realización de estudios posteriores, que permitan evitar el deterioro del arbolado, por lo que las autoridades correspondientes deben diseñar un programa de control y manejo de estas plantas parásitas en la zona.

Un manejo adecuado debe controlar la enfermedad en el bosque, sin tener como objetivo erradicar el muérdago enano y con la finalidad de evitar afectar las poblaciones de animales que se encuentran asociadas a él. Sería recomendable también, considerar el aprovechamiento del muérdago enano negro, por ser una de las plantas importantes en la medicina tradicional de la comunidad Magdalena Atlitic.

### **Agradecimientos**

Al posgrado en Ciencias Biológicas (UNAM) y al CONACyT por la beca otorgada, al ICyTDF (proyecto #PICSO10-5), al Dr. Víctor Ávila

Akerberg, Nancy Visuet, Biól. Mildrette Vázquez, Biól. Nihuib Flores, Biól. Inti Burgos, Biól. Diana Cervantes, M. en C. Verónica Aguilar Zamora, Gustavo Ortiz, Miguel Posadas y M. en C. Erick Gutiérrez por su ayuda en campo y al Dr. Víctor Ávila Akerberg por el apoyo en la traducción del resumen al idioma inglés.

## Referencias

- Andrade-Cetto, A. y Heinrich, M., 2005. Mexican plants with hypoglycaemic effect used in the treatment of diabetes. *Journal of Ethnopharmacology*, 99, pp. 325-348.
- Arauz, L., 1998. *Fitopatología: un enfoque agroecológico*. Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica.
- Ávila-Akerberg, V., 2004. *Autenticidad de los bosques en la cuenca alta del río Magdalena: diagnóstico hacia la restauración ecológica*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ávila-Akerberg, V., 2010. Forest quality in the southwest of Mexico City. Assessment towards ecological restoration of ecosystem services. *Culterra* (56). Alemania: Institut für Landespflege.
- Caballero, M., 1970. *La frecuencia de los daños al bosque (área de coníferas en Zacatecas, Sinaloa, y Jalisco)*. México. Publ. 14. Dirección General del Inventario Nacional Forestal.
- Chávez-Salcedo, L., 2013. *Estructura de la comunidad de artrópodos asociados a dos especies de muérdago enano (Arceuthobium spp.) parásitos de Pinus hartwegii (Lindl.) en el Parque Nacional "Zoquiapan y Anexas"*. Tesis de Licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cibrián, D., Alvarado, R. y García, D., 2007. *Enfermedades forestales en México/Forest diseases in Mexico*. México. Universidad Autónoma Chapingo. CONAFOR-SEMARNAT, Forest Service, Canadá, Comisión Forestal de América del Norte, COFAN, FAO.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), 2010. Manual de Sanidad Forestal. Fecha de [consultado en octubre de 2013]. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/ver.aspx?grupo=10&articulo=810>
- Coria, V., et al., 2011. Impacto de tierra de diatomeas sobre *Arceuthobium*

- globosum* Hawksworth & Wiens subsp. *grandicaule* en *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 1, pp. 39-46.
- Díaz, D. y López, M., 2008. Angiospermas parásitas y su impacto. *Revista Ciencia y Desarrollo*, 219, pp. 18-23.
- Espinoza, M., 2005. *Estimación del contenido y captura de carbono en el bosque de Pinus hartwegii de la cuenca alta del río Magdalena, D.F.* Tesis de Licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), 2006. Salud y vitalidad de los bosques. En: *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005. Hacia la ordenación forestal sostenible*. Roma, Italia. FAO. pp. 57-73.
- Fortin, M. y Thomas, M., 2005. *Spatial analysis: a guide for ecologists*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.
- Geils, B. y Hawksworth, F., 2002. Damage, effects, and importance of dwarf mistletoes. En: B. Geils, Cibrián, J. y B. Moody, ed. *Mistletoes of North American Conifers*. USDA-Canadian Forest Service-SEMARNAT. E.U.A. pp. 57-65.
- González, E.M., et al., 2004. *Plantas medicinales del estado de Durango y zonas aledañas*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Hernández-Benitez, R., Cano, Z. y Castellanos, I., 2005. Incidencia de infestación de *Arceuthobium globosum grandicaule* (Hawks. y Wiens) en *Pinus hartwegii* (Lindl.) *Revista Ciencia Forestal en México*, 30, pp. 79-86.
- Hernández-Sánchez, A.P., 2009. *Plantas medicinales y su efecto antimicrobiano: un servicio ecosistémico de la cuenca del río Magdalena, D.F.* Tesis de Licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hernández-Sánchez, A.P., 2012. *Distribución y nivel de infestación de Arceuthobium vaginatum subsp. vaginatum y Arceuthobium globosum subsp. grandicaule en el bosque de Pinus hartwegii de la cuenca del río Magdalena, México, D.F.* Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

- Martínez, M., 1958. *Flora medicinal del Estado de México*. Gobierno del Estado de México. México: Dirección de Recursos Naturales. Estado de México.
- Matthies D. y Egli P., 1999. Response of a root hemiparasite to elevated CO<sub>2</sub> depends on host type and soil nutrients. *Oecologia*, 120, pp. 156-161.
- Queijeiro, M., 2007. *Interacciones entre dos especies de muérdago enano (Arceuthobium spp.) y Pinus hartwegii en el parque nacional Zoquiapan, Estado de México: el papel del disturbio*. Tesis de licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Ramírez, J. y Porcayo, E., 2010. Estudio comparativo de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en la ladera norte del Parque Nacional Nevado de Toluca, México. *Bosque* 31, pp. 28-38.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2013. *Compendio de estadísticas ambientales 2012*. [Consultado en octubre 2013.] Disponible en: [http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/Compendio\\_2012/mce\\_index.html](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/Compendio_2012/mce_index.html).
- Rzedowski, G. C. de, Rzedowski, J. y eds., 2001. *Flora fanerogámica del Valle de México*. México. Segunda ed. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán).
- Shaw, D., Watson, D. y Mathiasen, R., 2004. Comparison of dwarf mistletoes (*Arceuthobium* spp., Viscaceae) in the western United States with mistletoes (*Amyema* spp., Loranthaceae) in Australia-ecological analogs and reciprocal models for ecosystem management. *Australian Journal of Botany*, 52, pp. 481-498.
- Vázquez, I., Villa, A. y Madrigal, S., 2006. *Los muérdagos (Loranthaceae) en Michoacán*. México. Michoacán, México. INIFAP-División forestal Uruapan, Michoacán. Libro Técnico Núm. 2.
- 

<sup>1</sup> Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

\*Correo electrónico: [amabel18@yahoo.com.mx](mailto:amabel18@yahoo.com.mx)

## PRODUCTIVIDAD PRIMARIA Y DESCOMPOSICIÓN: DOS PROCESOS ECOLÓGICOS DETERMINANTES EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS BOSQUES DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

*Guadalupe Barajas-Guzmán<sup>1\*</sup>, Javier Álvarez-Sánchez, Ernesto Delgadillo Durán<sup>1</sup>, Adrián Hernández Rojas<sup>1</sup>, Kurt Unger<sup>1</sup>, Julio Campo-Alves<sup>2</sup>, y Carolina Piña<sup>1</sup>*

### Introducción

La productividad primaria neta (PPN) se define como la tasa de almacenamiento de energía en forma de biomasa vegetal por unidad de área y tiempo. Se trata de un proceso ecológico fundamental y un importante indicador de las condiciones en que se encuentran los ecosistemas (Agren y Andersson, 2012). Los factores principales que modifican la PPN de los ecosistemas terrestres son la precipitación, la temperatura y los nutrientes disponibles en el suelo (Tateno y Takeda, 2003, Agren y Andersson, 2012). En México, las estimaciones de PPN se han realizado principalmente en bosques tropicales húmedos y en bosques secos estacionales (Martínez-Yrizar, 1995; Maass *et al.*, 2002; Balvanera y Aguirre, 2006; Alvarez, 1991), pero se tienen pocos datos para los bosques templados (Tabla 1). Las estimaciones de PPN varían ampliamente de acuerdo con la comunidad vegetal, edad del bosque, régimen de manejo y/o disturbio, y las condiciones macro y microambientales de cada sitio.

**Tabla 1**

Tabla 1. Valores de Productividad Primaria Neta (ppn) y sus componentes en bosques templados de varias regiones del mundo (elaboración propia).

Tipo de Vegetación	Comunidad Vegetal	Biomasa estimada (Mg ha <sup>-1</sup> )			PPN estimada (Mg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )			PPNA estimada (Mg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )			Caída de hojarasca estimada (Mg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )			PPNH estimada (Mg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	
		Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo
Bosque de coníferas	<i>Pinus radiata</i>	-	-	-	-	-	-	0.3	11.6	-	-	-	-	-	-
	<i>Pinus strobus</i> , <i>P. resinosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.1	-	1.9	-	-
	<i>Pinus sylvestris</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.0	-	-	-
	<i>Pinus sp.</i> , <i>Taxus sp.</i> , <i>Pinus sp.</i> , <i>Larix sp.</i>	-	-	-	3.0	22.5	10.9	1.2	17.5	7.9	0.4	1.8	1.7	1.7	5.0
											6.5	-	-	-	-
			179.0	305.0	221.0										
			59.4	479.7	159.4	6.1	19.6	11.8							
												0.7	8.6	-	-
		<i>Pinus peuce</i> , <i>P. ponder</i>										1.7	2.4	-	-
		<i>Pinus sylvestris</i>												1.8	-
			110.3	126.7	119.5				1.7	2.9	-	2.9	4.3	-	-
		<i>Pinus hartwegi</i>	22.7	181.7	79.1							1.4	1.9	-	-
					540.7						4.6	-	-	1.9	-
		<i>Abies religiosa</i>	144.9	671.4	335.9										
	<i>Pinus hartwegi</i>	32.0	130.2	89.2											
	<i>Abies religiosa</i>			240.6											
	<i>Pinus hartwegi</i>			224.3											
	<i>Abies religiosa</i>			372.0											
	<i>Pinus hartwegi</i>			295.0											
	<i>Pinus pseudotsugae</i>			125.3									5.1	-	
Bosque de latifolias	<i>Quercus alba</i> , <i>Q. rubra</i> , <i>Acer sp.</i> , <i>Fagus sp.</i>	-	-	-	-	-	-	5.3	9.5	8.0	-	-	-	-	-
	<i>Quercus pyrenaica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	4.3	1.6	-	-
	<i>Quercus robur</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Ahies saba</i>	-	-	-	-	-	14.3	-	-	11.7	-	-	1.4	-	-
								7.3	8.1	-	-	-	-	-	-
	<i>Quercus sp.</i>	15.0	25.0	19.0											
			54.5	493.4	184.5	7.8	24.0	14.4							
	<i>Quercus nitens</i>												2.3	-	-
	<i>Fagus ornata</i> y <i>Quercus crispula</i>	103.0	374.9	195.8	8.8	14.1	11.2	5.6	8.6	7.0	-	-	-	1.5	7.7
	<i>Quercus humboldtii</i>										7.5	8.2	7.9	-	-
<i>Quercus sp.</i>			4.9									4.5	-	-	

Al igual que en otros ecosistemas terrestres, se reconoce al nitrógeno como uno de los principales reguladores de la PPNA. La mayor parte de los trabajos que evalúan la disponibilidad de nitrógeno en el suelo han encontrado relaciones positivas con la PPNA o con alguno de sus componentes (Pastor *et al.*, 1984; Reich *et al.*, 1997). Otros trabajos han evaluado la relación de la PPNA con otros reguladores, entre ellos la temperatura media anual, la precipitación, la evapotranspiración, la humedad del suelo, el índice de área foliar y la radiación fotosintéticamente activa (Pastor y Post, 1986; Grigal y Homann, 1994; Newman *et al.*, 2006). Van Cleve *et al.* (1983) mostraron que existe una relación entre la temperatura del suelo y la calidad de la hojarasca con la PPNA en bosques de Alaska, mientras que Newman *et al.* (2006) hicieron una evaluación del efecto de la humedad del suelo con respecto a la PPN Hipogea (PPNH) y la PPNA, y encontraron una mayor relación con la PPNH. Runyon *et al.* (1994) destacan la dependencia que existe de la PPN con respecto a la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa y la influencia de factores ambientales en el uso eficiente de la luz (como temperatura, humedad, déficit de presión de vapor y nutrientes en el suelo).



En este sentido, Pharis *et al.* (1972), Kaufmann (1982) y Jones (1992) muestran evidencia del efecto que la temperatura tiene sobre la actividad fotosintética, y por lo tanto de la PPN, encontrando que las temperaturas bajo cero o de congelación detienen el proceso de fotosíntesis por un cierto número de horas, hasta que la temperatura regresa a sus niveles óptimos. Larcher (1983) reporta que a  $-2^{\circ}\text{C}$  la tasa fotosintética de una gran variedad especies arbóreas (incluyendo las de bosques templados) es cercana a cero.

Con respecto al efecto de la temperatura ambiente sobre la PPN, Grant *et al.* (2008) mencionan que el aumento de la temperatura hasta un máximo de  $15^{\circ}\text{C}$  puede estar aumentando la carboxilación en la fotosíntesis, lo que a su vez podría explicar el aumento de la PPN con la temperatura.

En México, García *et al.* (2004) obtuvieron una estimación de la productividad de tejido leñoso en pie ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ ) con base en el crecimiento del área basal de los árboles dominantes en un bosque de *Pinus gregii*, en el estado de Hidalgo, mientras que siguiendo el mismo enfoque Biondi *et al.* (2005) lo hicieron en un bosque de *Pinus hartwegii* en el Nevado de Colima. Otros estudios han evaluado la biomasa de los bosques templados con el fin de estimar el contenido y el potencial de captura de carbono, además de documentar los cambios en el ciclo del carbono derivados de los cambios de uso del suelo, de la deforestación y de la quema de vegetación (Espinosa, 2005; Galeana, 2008; Mendoza, 2008; Rojas, 2008).

Los estudios que han evaluado los patrones de caída de hojarasca en bosques templados del mundo, generalmente han tenido como objetivo estimar la calidad del mantillo y la liberación de nutrientes (proceso de descomposición) al suelo, en distintos regímenes de manejo agroforestal o de disturbio. En estos estudios se reportó una correlación significativa entre la evapotranspiración, la temperatura del aire y la precipitación, con los patrones de caída de hojarasca, como puede observarse en la tabla 2 (Berg y Meentmeyer, 2001; Novak y Slodicak, 2004; Roig *et al.*, 2005; Slodicak *et al.*, 2005; Ramírez-Correa *et al.*, 2007).

**Tabla 2**

Tabla 2. Correlaciones entre la caída de hojarasca y variables climáticas en diferentes bosques templados en Europa (Berg y Meentemeyer, 2001).

	BOSQUE DE PINO	BOSQUE DE OYAMEL Y ENCINO
Precipitación total anual (mm)	-0.44	0.57
Temperatura media anual (° C)	0.41	0.66
Evapotranspiración real	0.69	0.84
Contenido de humedad en el suelo	0.67	0.78
	0.76	0.89
	-0.37	

Ya en el suelo, la hojarasca sufre el proceso de descomposición, esta transformación de la materia orgánica, representa el catabolismo de los componentes orgánicos, proceso que los lleva a sus formas más simples (formas inorgánicas) para que puedan ser tomados nuevamente por los productores primarios (Coleman *et al.*, 2004). Los componentes orgánicos que no se degradaron a sus componentes inorgánicos más simples, llevan a la formación de nuevos compuestos con pesos moleculares de 2 000 a 300 000 g/mol (Spaccini *et al.*, 2000), que son estructuralmente complejos, y que en su conjunto se denominan humus (Tabla 3). En estos nuevos compuestos el carbono puede almacenarse por cientos, miles o millones de años en el suelo, entre más alto es el cociente C/N de la hojarasca más compuestos complejos se van a formar y más lenta será la descomposición (Nierop *et al.*, 2001; Grandy y Neff, 2008). La descomposición de la materia orgánica provoca la liberación de dióxido de carbono, agua y nutrientes, todos ellos necesarios para la productividad primaria (Tate, 1992).

**Tabla 3**

Tabla 3. Contenido de ácidos húmicos y fúlvicos en diferentes órdenes de suelos (elaboración propia).

ORDEN DE SUELO	ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS (mg 100 g <sup>-1</sup> )
Alfisol	1 354
Mollisol	1 020
Ultisol	752
Vertisol	516
Andosol	1 845

Los estudios relacionados con la descomposición de la fracción foliar, realizados en bosques templados y fríos en nuestro país, aún son escasos; sin embargo, también se han llevado a cabo en otros países, en los cuales los bosques de coníferas son representativos. Algunos estudios sobre hojarasca de coníferas muestran que existe una pérdida de biomasa de entre 26.2 y 29.4% al cabo de 12 meses, sin diferencias significativas estadísticas entre especies, y han mostrado una disminución considerable en la tasa de descomposición durante el invierno, en comparación con el verano (Don y Kalbitz, 2005). Otro estudio estimó que 95% de la descomposición del follaje ocurrió en un tiempo de 6 a 8 años (Xu, 2002), lo que indica que la descomposición de la vegetación en climas templados o fríos es de baja a intermedia. Esto se debe no sólo a que la actividad biológica en estas regiones sea baja, sino también a que la materia orgánica muerta presenta bajos contenidos de nutrientes, lo que provoca que la materia orgánica sea resistente a la descomposición y que la actividad de la comunidad de desintegradores sea más lenta (Lavelle y Spain, 2001), en comparación con la de los bosques tropicales.

Los estudios que estiman la PPN y la descomposición en los bosques templados de México son escasos (Escobar *et al.*, 2008) y se trata de procesos importantes de cuantificar ya que son primordiales para entender el funcionamiento de los ecosistemas, además de que regulan gran parte de los servicios ecosistémicos.

Los objetivos centrales de este trabajo consistieron en estimar la productividad primaria neta aérea anual (PPNA) y describir las características microclimáticas y edáficas de los bosques de pino, oyamel y encino presentes en la cuenca del río Magdalena (CRM), así como evaluar la tasa de descomposición de la fracción foliar de *Abies religiosa*, *Quercus*

*rugosa*. y *Pinus hartwegii* durante un ciclo anual. Bajo la premisa de que se esperan los valores más altos de productividad y descomposición en el bosque con los registros más elevados de temperatura y humedad, tanto del aire como del suelo. Asimismo, se espera la descomposición más lenta en la especie que presente los valores más altos del cociente C/N

## Método

Se estableció una parcela de una hectárea en cada uno de los tipos de bosque, con las características que se enlistan en la tabla 4. El microclima se registró a través de sensores automáticos (humedad y temperatura del aire, H0B0, Onset. Co. USA; temperatura del suelo H01, HOB0 Onset Corporation, USA). Se colocaron cuatro sensores de aire (a una altura de 30 cm) y cuatro de suelo (a una profundidad de 10 cm) en cada una de las parcelas, se colocaron en dirección a cada una de las esquinas de la parcela y a 30 m del centro. Cada sensor registro los datos cada hora durante el año de duración del trabajo. Además, se determinó la cantidad de agua en el suelo (g H<sub>2</sub>O / g de suelo) en las diferentes zonas de estudio.

Tabla 4

Tabla 4. Características de las parcelas de estudio en la cuenca del río Magdalena, CMX (elaboración propia).						
PARCELA	ESPECIE DOMINANTE	ALTITUD msnm	ORIENTACIÓN DE LA LADERA	PENDIENTES %	DENSIDAD DEL SUELO (g cm <sup>3</sup> )	DISTURBIO APARENTE
1	<i>Pinus hartwegii</i>	3 450	O-E	0-30	0.69	pastoreo
2	<i>Abies religiosa</i>	3 480	E-O	0-40	0.96	plaga, leña
3	<i>Quercus rugosa</i> <i>Q. laurina</i>	2 805	E-O	0-20	0.50	actividades humanas

Para determinar el contenido de agua del suelo por el método gravimétrico se colectaron 10 muestras de suelo sistemáticamente a 10 cm de profundidad bimensualmente, desde que se montó el experimento en agosto del 2008, hasta agosto del 2009. Ya en el laboratorio se tomaron tres repeticiones de 20 g por bolsa, lo que resultó en un total de 30 muestras de 20 g de suelo para cada bosque. En vasos de precipitado se colocaron y secaron las muestras en un horno durante 48 horas a 105°C. El contenido de agua se determinó de la siguiente manera:

$$[(\text{Peso húmedo} - \text{peso seco}) / \text{Peso seco g suelo}] = \text{g H}_2\text{O} / \text{g suelo}$$

Con el fin de explorar la existencia de variación estacional en la

disponibilidad del nitrógeno y caracterizar al suelo de cada parcela, fueron colectadas al azar 20 muestras de suelo por hectárea. Cada muestra fue tomada con un nucleador de 5 cm de diámetro por 10 cm de profundidad. Los muestreos se llevaron a cabo en la época de lluvias (a finales de septiembre) y en la época seca (a principios de abril). Las muestras fueron tamizadas (malla 2 mm), mezcladas y homogeneizadas manualmente para formar una muestra compuesta.

Para cada muestra compuesta (diez repeticiones) de suelo se determinó:

- Nitrógeno total, a través de una digestión ácida con ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (Sollins *et al.*, 1999) y análisis colorimétrico (Technicon Industrial Systems, 1997).
- C total por el método de Walkley-Black modificado (Technicon Industrial Systems, 1997).
- pH en agua destilada (1:2.5) (Robertson *et al.*, 1999).
- Nitrógeno inorgánico (nitrato y amonio), por medio de una extracción con cloruro de potasio (KCl) (Sollins *et al.*, 1999) y análisis colorimétrico (Technicon Industrial Systems, 1997).

Las determinaciones de carbono y nitrógeno totales se realizaron en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Posgraduados, y del nitrógeno inorgánico en el Laboratorio de Biogeoquímica Terrestre y Clima del Instituto de Ecología de la UNAM.

**Tasa de mineralización del nitrógeno (TNMN).** Para estimar la TNMN se obtuvieron los valores de nitrato y amonio iniciales, y después de 30 días de mantener el suelo a 25 ° C en una incubadora (Percival Scientific, Inc. Modelo I-36 LL). La TNMN fue calculada de acuerdo con la fórmula siguiente (Stanford y Smith, 1972; Tatenó y Takeda, 2003):

$$\text{TNMN} = \frac{[(\text{NH}_4^+ \text{ final} - \text{NH}_4^+ \text{ inicial}) + (\text{NO}_3^- \text{ final} - \text{NO}_3^- \text{ inicial})]}{\text{días de incubación.}}$$

**Productividad Primaria Neta Aérea.** Esta estimación se expresó como la suma del incremento anual de biomasa aérea y la caída anual de hojarasca. El incremento de la biomasa aérea arbórea (Clark *et al.*, 2001), la cual generalmente se determina mediante medidas sucesivas del diámetro normalizado (DN), que son extrapoladas al incremento de biomasa arbórea usando ecuaciones alométricas desarrolladas para sitios con formas

similares de crecimiento, o basadas en datos de uno o más sitios de condiciones climáticas y edáficas similares. En este trabajo se utilizaron las siguientes ecuaciones alométricas, obtenidas para especies forestales de bosques templados del sur de México:

BMAPino (*P. montezumae*) = 0.084 • DN<sup>2.475</sup> (Ayala-López, 2001)

BMAOyamel (*Abies religiosa*) = 0.0754 • DN<sup>2.513</sup> (Avendaño-Hernández, 2006)

BMAEncino (*Quercus rugosa*) = 1.91 • DN<sup>1.782</sup> (Ayala-López, 2001)

BMA = biomasa aérea

DN = diámetro normalizado

Los árboles seleccionados (todos los árboles establecidos dentro de las parcelas con diámetro > 10 cm, 377 árboles de *P. hartwegii*, 507 de *A. religiosa* y 262 de *Q. rugosa* y *Q. laurina*) se marcaron para su posterior medición al cabo de un año. Las ecuaciones se emplearon con los datos obtenidos al inicio (agosto del 2008) y al final (julio del 2009) del intervalo de medición, por lo que el incremento de biomasa aérea se obtuvo de la biomasa aérea final menos la biomasa aérea inicial.

La producción de hojarasca se estimó con el método de trampas distribuidas aleatoriamente en cada sitio. Para tal efecto las parcelas fueron divididas en un plano cartesiano y se generaron coordenadas al azar, donde fueron colocadas las trampas. La hojarasca se colectó mensualmente en 80 trampas dispuestas en cada sitio (la estructura de las trampas se formó con una solera de aluminio y el colector con malla de nylon en forma de embudo, de 50 cm de diámetro y 40 cm de fondo). El material colectado se colocó en bolsas de plástico y se transportó al laboratorio. En el laboratorio se excluyeron las ramas con un diámetro >1 cm, con lo que se asegura que el material leñoso colectado pertenece al periodo de crecimiento actual y no a uno anterior, según lo recomendado por Clark *et al.* (2001). Las muestras se colocaron en un horno de secado a 65°C, dentro de bolsas de papel, hasta alcanzar su peso seco constante. Las trampas se instalaron en campo en el mes de agosto del 2008.

**Descomposición del mantillo.** Para poder llevar a cabo la estimación de la tasa de descomposición de la fracción foliar de la hojarasca de *Pinus hartwegii*, *Abies religiosa* y *Quercus rugosa* se colocaron de manera aleatoria en campo a finales del mes de julio del 2008 un total de 80 bolsas

de malla de mosquitero de 20 x 20 cm con 20 g de peso fresco de la fracción foliar recién caída de cada una de las especies en cada uno de los sitios de estudio. La fracción foliar de cada especie se puso a descomponer en el sitio de colecta, no hubo cruce de sitios. Se realizaron colectas bimensuales tomando 10 bolsas de campo por especie (total 30 bolsas), cuyo contenido se secó por 24 hrs a 80°C. Posteriormente, con el fin de comparar los cambios en peso seco entre los diferentes tiempos de colecta durante un ciclo anual, estas muestras se pesaron. La concentración de carbono y nitrógeno de la fracción foliar se midió al inicio del experimento para estimar la calidad de la misma.

### **Análisis estadístico**

En el caso del experimento de descomposición, se realizó un ANDeVA de una vía, con el fin de evaluar si había diferencias significativas en el porcentaje promedio de peso remanente entre los diferentes tiempos de colecta para cada una de las especies (Statistica 8). Cuando se encontraron diferencias significativas, se procedió a realizar la comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey. Todos los análisis se llevaron a cabo con un 95% de confianza. También se obtuvo la velocidad de descomposición de cada curva en gramos de peso perdido por día a través del modelo de descomposición exponencial negativo (Olson, 1963). Finalmente, para la comparación de las variables de microclima y suelo entre los tres tipos de bosque, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis (Statistica 8).

### **Resultados y discusión**

En el bosque de encino se registraron los valores más altos de temperatura en el aire y en el suelo, y de humedad del aire (Tabla 5), en tanto que, en el bosque de oyamel se registraron los valores más altos de humedad en el suelo; mientras que el bosque de pino se caracteriza por las temperaturas y la humedad en el suelo más bajas. Dadas las características de microclima se esperaría (por lo reportado en la literatura) que en el bosque de encino se presentaran valores altos de productividad y descomposición.

**Tabla 5**

Tabla 5. Características microclimáticas del aire y del suelo (promedio de los registros tomados cada hora durante el año de estudio), y humedad del suelo en los tres bosques en la cuenca del río Magdalena, *comx*. Se presentan promedios  $\pm$  desviación estándar. Ta = temperatura del aire, Ts = temperatura del suelo (elaboración propia).

	Ta media (°C)	Ta mín (°C)	Ta max (°C)	H aire (%)	Ts media (°C)	H suelo (g g <sup>-1</sup> )
B. Pino	6.8 $\pm$ 0.2 b	-0.3 $\pm$ 0.5 c	20.6 $\pm$ 2.4 a	60 $\pm$ 2 b	8.5 $\pm$ 1.0 ab	0.41 $\pm$ 0.9 b
B. Oyamel	6.9 $\pm$ 0.1 b	2.9 $\pm$ 0.3 b	13 $\pm$ 0.3 c	65.4 $\pm$ 8.7 b	7.0 $\pm$ 1.3 b	0.82 $\pm$ 0.3 a
B. Encino	11.2 $\pm$ 0.03 a	6.9 $\pm$ 0.03 a	16.9 $\pm$ 0.2 b	75 $\pm$ 0.07 a	9.9 $\pm$ 0.5 a	0.65 $\pm$ 0.2 ab

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los bosques (p < 0.05).

De las cinco características químicas del suelo evaluadas, tres presentaron diferencias significativas entre los bosques (tabla 6). En el bosque de pino se registraron los valores más altos de Ct y Nt. Los valores encontrados de carbono total para los bosques templados de la CRM (entre 90.19 y 138.79 Mg ha<sup>-1</sup>) se encuentran dentro de los valores mínimos e intermedios registrados en otros bosques templados en México; en el Parque Nacional Iztacihuatl-Popocatepetl y en la Reserva de la Biosfera de El Cielo, por ejemplo, los valores van de 90.18 a 243.73 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Corona, 2007; León, 2007).

El nitrógeno total en este estudio presentó valores entre 5.2 y 9.0 Mg ha<sup>-1</sup>, superiores a los registrados para otros bosques templados en México, que van de 1.4 Mg ha<sup>-1</sup>, en el Parque Nacional Iztacihuatl-Popocatepetl, a 4.6 Mg ha<sup>-1</sup>, en la Reserva de la Biosfera de El Cielo (Corona, 2007; León, 2007). Los valores más bajos de pH se registraron en el bosque de pino, propiedad que, según la literatura, dificulta la absorción de algunos nutrientes (potasio, magnesio y fósforo) (Binkley y Vitousek, 1989; Agren y Andersson, 2012). El bosque de encino presentó un pH que es prácticamente 6 y a estos valores cualquier nutriente es accesible para las plantas, siempre y cuando se encuentren en la solución del suelo, lo cual a su vez está en función de la estructura del suelo, de manera de que depende del tipo de suelo (Tan, 2000; Coleman *et al.*, 2004; Brady y Weil, 2008;). En el bosque de oyamel se registró la tasa más baja de mineralización, lo que indica una liberación más lenta de nitrato y amonio al suelo, en comparación a los bosques de pino y encino. Sin embargo, los valores de mineralización de nitrógeno en este estudio, de 489 (bosque de pino), 386.9 (bosque de oyamel) y 588.7 (bosque de encino)  $\mu\text{g N g}^{-1} \text{año}^{-1}$  son intermedios a los valores reportados para bosques de coníferas en



Japón (de 1 a 940  $\mu\text{g g}^{-1} \text{año}^{-1}$ ) y superiores a los de bosques templados de Canadá (de 3.82 a 6.44  $\mu\text{g N g}^{-1} \text{año}^{-1}$ ) (Tateno y Takeda, 2003; Ste-Marie y Houle, 2006.).

**Tabla 6**

Tabla 6. Características físico-químicas del suelo en los tres bosques de la cuenca del río Magdalena, CDMX. Se presentan promedios  $\pm$  desviación estándar (elaboración propia).

	pH	Ct $\text{mg g}^{-1}$	Nt $\text{mg g}^{-1}$	C/N	TNMN $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ 30 días}^{-1}$
B. Pino	4.9 $\pm$ 0.1 b	161.8 $\pm$ 19.8 a	8.8 $\pm$ 0.9 a	18.9 $\pm$ 2.9 a	4.02 $\pm$ 0.5 a
B. Oyamel	5.4 $\pm$ 0.2 ab	145.8 $\pm$ 8.9 a	7.9 $\pm$ 0.5 b	18.4 $\pm$ 0.2 a	3.18 $\pm$ 0.4 b
B. Encino	5.9 $\pm$ 0.1 a	151.3 $\pm$ 15.5 a	8 $\pm$ 0.4 ab	18.8 $\pm$ 0.9 a	4.84 $\pm$ 0.5 a

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los bosques ( $p < 0.05$ ). (n=10 para cada bosque)

Los valores promedio del cociente C/N para los tres tipos de bosque (<20) son menores a los reportados para bosques templados en México. En el Parque Nacional de Zoquiapan y en el Parque Nacional Iztacihuatl-Popocatepetl se reportaron valores promedio de 39 y 32, respectivamente, mientras que para la Reserva de la Biosfera de El Cielo se obtuvo un valor promedio de 47 (Corona, 2007; León, 2007). Los resultados de este estudio también son menores a lo reportado para bosques templados mixtos y de coníferas en Chile, el este de Estados Unidos y Europa, para los que se encontró un intervalo de 20 a 41 (Pérez *et al.* 1991; Gundersen *et al.* 1998; Joshi *et al.* 2006; Gundersen *et al.* 2006; Newman *et al.* 2006).

Chapin *et al.* (2002) y Nieder y Benbi (2008) mencionan que un cociente C/N mayor a 25 implica una menor disponibilidad del nitrógeno y una posible inmovilización de este por parte de la microbiota del suelo, mientras que valores menores a 25 indican una mayor disponibilidad del nitrógeno, y por lo tanto, una mayor mineralización del mismo. En este sentido, Gundersen *et al.* (1998; 2006) emplean el cociente C/N como un indicador de la disponibilidad del nitrógeno en suelos de bosques de coníferas y consideran un ecosistema limitado por nitrógeno cuando dicho cociente es mayor a 30, con mediana disponibilidad de nitrógeno cuando está entre 25 y 30, y saturado de nitrógeno cuando es menor a 25. De acuerdo a lo anterior, los bajos valores del cociente C/N encontrados para los tres tipos de bosque en la cuenca del río Magdalena hacen suponer que domina la mineralización del nitrógeno, y por consiguiente, que este elemento no está siendo limitante para el sistema.

### ***Biomasa aérea (BMA)***

La estimada para el bosque de pino ( $107.8 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) es similar a lo reportado por Galeana (2008) y Espinosa (2005), en la CRM, y menor a lo reportado por Rojas (2008) y Mendoza (2008), en bosques de pino de Tlaxcala y Veracruz (Tabla 1). Los valores obtenidos para el bosque de oyamel ( $281.7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) son similares a lo reportado por Galeana (2008) y Espinosa (2005) e intermedios a lo reportado por Rojas (2008) y Mendoza (2008) para bosques de oyamel en Tlaxcala y Veracruz (Tabla 1). Tanto el bosque de pino como el de oyamel están dentro de los valores mínimos reportados para otros bosques de coníferas en el mundo (Tabla 1).

Los valores de BMA para el bosque de encino ( $303 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) están por encima de lo reportado por Escandón *et al.* (1999) y Rojas (2008) para bosques de encino en Chiapas y Tlaxcala, respectivamente (Tabla 1), cuyos estudios están desarrollados en bosques con vegetación secundaria o dominados por árboles menores a los 5 m de altura. Con respecto a otros bosques similares en el mundo, los valores de BMA en la CRM están dentro de los valores altos (de 54 a  $453 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; Tabla 1).

### ***Caída de hojarasca***

Los valores del acumulado anual de caída de hojarasca para el bosque de pino ( $2.16 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) están por debajo de lo encontrado por Rocha y Ramírez (2009) para un bosque de pino en Chiapas, y dentro de los valores mínimos reportados para otros bosques de coníferas en el mundo (Tabla 1). En el bosque de oyamel los valores del acumulado anual de caída de hojarasca ( $5.1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) se sitúan dentro de los valores máximos determinados para esos mismos estudios (Tabla 1). En el caso del bosque de encino el acumulado anual de caída de hojarasca ( $4.85 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) está por debajo de lo reportado por Rocha y Ramírez (2009) para un bosque de encino, y dentro de los valores máximos para otros bosques de latifoliadas en el mundo (Tabla 1).

Los valores máximos de caída de hojarasca mensual coincidieron con la temperatura mínima más alta y con la temperatura máxima más baja. Roig *et al.* (2005) describen un patrón similar para la caída de hojarasca

mensual en bosques de coníferas en España, donde encuentran que los picos de caída máxima de hojarasca coinciden con el aumento de la temperatura mensual previa.

### ***Productividad primaria neta aérea (PPNA)***

Los valores para el bosque de pino ( $5.89 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) se encuentra por debajo de los valores observados por Reich *et al.* (1997) y Runyon *et al.* (1994), para bosques de coníferas de Estados Unidos, y por encima de lo reportado por Joshi *et al.* (2003; 2006) y Pastor *et al.* (1984), para bosques de coníferas en Estados Unidos y Chile (Tabla 1).

En el bosque de oyamel los valores de PPNA ( $10.78 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) están por encima de lo reportado en la tabla 1 para bosques templados y en el bosque de encino los valores de PPNA ( $10.51 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) son menores a los registrados por Runyon *et al.* (1994), pero están por encima de los de Pastor *et al.* (1984), Reich *et al.* (1997) y Tateno *et al.* (2004), para bosques de latifoliadas en Estados Unidos y Japón (Tabla 1); sin embargo, la PPNA de los bosques de la CRM están dentro de los valores mínimos reportados por Keeling y Phillips (2007) para la mayoría de los bosques templados en el mundo, cuyo rango de PPNA se sitúa entre los 10 y  $20 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , por lo que podemos considerar que la PPNA es baja.

### ***Descomposición***

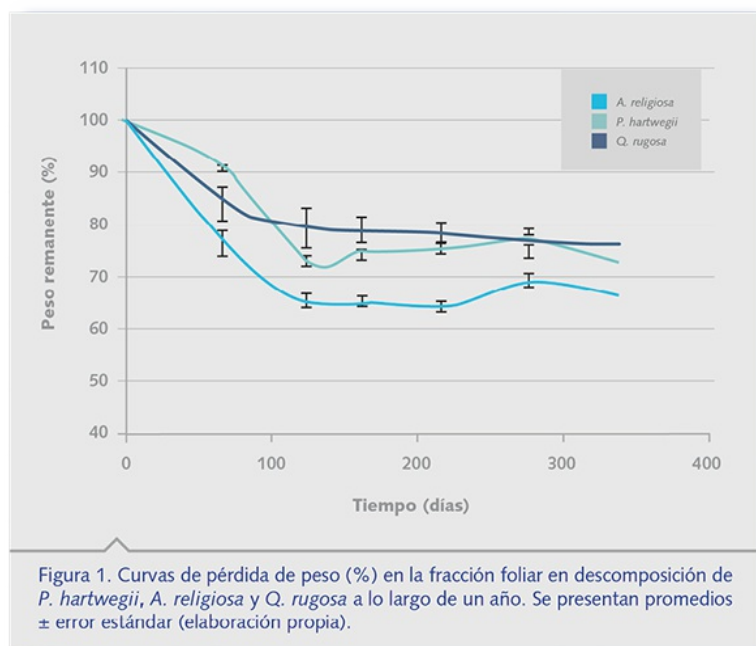
Por lo que respecta a este parámetro, se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tiempos de colecta de la fracción foliar en descomposición en cada una de las especies. En el caso de la fracción foliar de *P. hartwegii* ( $F_{6,63} = 389.1$ ;  $p < 0.0001$ ) y *Abies religiosa* ( $F_{6,63} = 197.5$ ;  $p < 0.001$ ) el peso inicial fue estadísticamente diferente del peso registrado a los 68 días de transcurrido el experimento, y estos dos tiempos fueron diferentes del resto de las colectas en donde ya no hubo cambios significativos. En el caso de la fracción foliar de *Q. rugosa* ( $F_{6,63} = 23.7$ ;  $p < 0.01$ ) solo el peso inicial fue diferente de el peso registrado a lo largo del ciclo anual, fue esta especie la que perdió menos peso a lo largo del experimento (Tabla 7. Figura 1). En los primeros 100 días ocurre la mayor pérdida de peso; debido a que el experimento se inicio al comienzo de la

época de lluvias, es probable que en esta primera etapa de la descomposición, haya dominado el proceso de lixiviación (lavado de los compuestos más solubles) (Brady y Weil, 2008; Tan, 2000); después de esta primera etapa hay muy pocos cambios a lo largo del año de estudio. Estos resultados coinciden al menos en los primeros 100 días con lo encontrado por Rocha y Ramírez (2009) para siete especies en bosques de pino-encino en el estado de Chiapas. El peso perdido en porcentaje al final del ciclo anual fue de 34 para *A. religiosa*, 28 para *P. hartwegii* y 24 para *Q. rugosa*. Rocha y Ramírez (*op. cit.*) registraron para *Q. crassifolia* y *P. oocarpa* en diferentes condiciones sucesionales una pérdida de peso entre un 65 - 40 % en el estado de Chiapas, pérdidas que son más altas a las registradas en este trabajo; sin embargo, cuando se observan los valores del cociente C/N para esas dos especies fueron de 32.5 y 43 respectivamente, en tanto que, para este trabajo en *Q. rugosa* fue de 42.7 y para *P. hartwegii* de 67.4, característica que podría explicar la descomposición más lenta en la cuenca del río Magdalena (Brady y Weil, 2008).

Las curvas del peso remanente se ajustaron al modelo exponencial negativo para obtener la pérdida de peso en gramos por día (Tabla 7), la velocidad de pérdida de peso de la fracción foliar de oyamel duplico el valor de la de encino y es superior a la del pino.

**Tabla 7**

Tabla 7. Calidad de la fracción foliar vista a través del cociente C/N y la velocidad de descomposición promedio a lo largo de un año (elaboración propia).			
	Velocidad de descomposición (g día <sup>-1</sup> )	Cociente C/N	% de peso perdido durante un año
<i>Pinus hartwegii</i>	0.04	67.4	28
<i>Abies religiosa</i>	0.06	49.7	34
<i>Quercus rugosa</i>	0.03	42.2	24



**Figura 1**

A pesar de que la calidad de la fracción foliar es similar entre oyamel y encino (Tabla 7), resulta sorprendente que la pérdida de peso sea más rápida en oyamel, ya que es en el bosque de encino donde se tienen mejores condiciones climáticas (Tabla 5), y quizá, podríamos atribuir estos resultados a las características del suelo y la fauna edáfica. Lavelle *et al.* (1993) propusieron un modelo jerárquico para la descomposición, en el cual se postula que cuando el clima y la calidad del recurso no son los factores principales para explicar las diferencias en la descomposición, entonces habrá que ver las diferencias en el suelo y en la fauna edáfica. En el caso del bosque de encino, predominan los leptosoles (suelos poco profundos) que, además, son menos húmedos que los suelos del bosque de oyamel. Estos últimos son más profundos y contienen una gran cantidad de materia orgánica, por lo que podrían albergar poblaciones mayores de animales y microorganismos con lo que se acelera su actividad y se promueve la pérdida de biomasa durante la descomposición. Algunos estudios indican que existe una relación positiva entre la riqueza de especies de la meso y macro fauna y la pérdida de masa del mantillo, que puede ser significativa. La fauna de tamaños mayores contribuye más en latitudes ecuatoriales (Heneghan *et al.*, 1999) y la microfauna es de mayor importancia hacia los polos (Wall *et al.*, 2008). Heneghan y colaboradores (1999) también realizaron un estudio de descomposición en un bosque

templado y dos tropicales y observaron que la fauna contribuía a la pérdida de peso del mantillo hasta en un 37%, y aunque podría ser la explicación, habría que trabajar en campo para demostrarlo.

Finalmente, consideramos que la descripción de los procesos aquí estudiados ayudará a seguir entendiendo como funcionan los bosques de la CRM, y con ello tomar las mejores decisiones para el manejo y conservación de la misma en el futuro.

### **Agradecimientos**

Al Macroproyecto “Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano” UNAM (SEDEI-PTID-02) en la cuenca del río Magdalena D.F. y a Lizbeth Guzmán Moreno y Juan Carlos Peña, Kurt Unger Saldaña y Carolina Piña Reyes por su apoyo en el trabajo de campo y de gabinete.

### **Referencias**

- Agren, G. y Andersson, F., 2012. *Terrestrial Ecosystems Ecology*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Álvarez-Sánchez, J., 1991. Productividad primaria neta en una selva tropical húmeda. *Bol. Soc. Bot. México*, 51, pp. 3-12.
- Avendaño-Hernández, D., 2006. *Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en Abies religiosa (H.B.K) Schl. et Cham., en Tlaxcala, México*. Tesis de licenciatura en Ingeniería Forestal. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México.
- Ayala-López, R., 2001. *Ecuaciones para estimar biomasa de pinos y encinos en la Meseta Central de Chiapas*. Tesis de licenciatura en Ingeniería Forestal, División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México.
- Balvanera, P. y Aguirre, E., 2006. Tree diversity, environmental heterogeneity and productivity in a Mexican tropical dry forest. *Biotropica*, 38, pp. 479-491.
- Berg, B. y Meentemeyer, V., 2001. Litter fall in some European coniferous forest as dependent on climate: a synthesis. *Canadian Journal Forestry Research*, 31, pp. 292- 301.
- Binkley, D. y Vitousek, P.M., 1989 Soil nutrient availability. En: R. Pearcy, et al., eds. *Plant Physiological Ecology: Field Methods and*

- Instrumentation*. London, UK: Chapman and Hall, pp. 75-96.
- Biondi, F., Hartspugh, P. y Estrada, I., 2005. Daily weather and tree growth at the tropical tree line of North America. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 37, pp. 16-24.
- Brady, N. y Weil, R., 2008. *The Nature and Properties of Soils*. Nueva Jersey: Prentice Hall. Upper Saddle River.
- Chapin, F., Matson, A. y Mooney, A., 2002. *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Nueva York: Springer.
- Clark, D., *et al.*, 2001. Measuring Net Production in forests: Concepts and field methods. *Ecological Applications*, 11, pp. 356-370.
- Coleman, D., Crossley, A. y Hendrix, F., 2004. *Fundamentals of Soil Ecology*. San Diego, California: Elsevier Academic Press.
- Corona, A., 2007. *Actividad ureasa del suelo y la dinámica de C y N en bisques templados de México*. Tesis de Licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Don, A. y Kalbitz, K., 2005. Amounts and degradability of dissolved organic carbon from foliar litter at different decomposition stages. Department of Soil Ecology, Bayreuth Institute for Terrestrial Ecosystem Research (BITO K). Germany. University of Bayreuth, D-95440 Bayreuth. *Soil Biology and Biochemistry*, 37, pp. 2171-2179.
- Escandón, J., *et al.*, 1999. Evaluación de dos métodos para la estimación de biomasa arbórea a través de datos LANDSAT TM en Jusnajib La Laguna, Chiapas, México: estudio de caso. *Investigaciones Geográficas*, 40, pp. 71-84.
- Escobar, M., *et al.*, 2008. Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas. En: CONABIO, ed. *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. México: CONABIO. pp. 161-189
- Espinosa, I., 2005. *Estimación del contenido y captura de carbono en el bosque de Pinus hartwegii de la cuenca alta del río Magdalena, D. F.* Tesis de licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Galeana, J., 2008. *Estimación del contenido y captura potencial de carbono, su valoración económica, en la cuenca del río Magdalena,*

- Distrito Federal, México*. Tesis de licenciatura en Geografía. México. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, E., 1978. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, R., *et al.*, 2004. Tree growth and  $^{13}\text{C}$  among populations of *Pinus greggii* Engelm, at two contrasting sites in central México. *Forest Ecology and Management*, 198, pp. 237-247.
- Grandy, A. y Neff, J., 2008. Molecular C dynamics downstream: The biochemical decomposition sequence and its impact in soil organic matter structure and function. *Science of the Total Environment*, 404, pp. 297-307.
- Grant, R.F., *et al.*, 2009. Changes in net ecosystem productivity of boreal black spruce stands in response to changes in temperature at diurnal and seasonal time scales. *Tree Physiology*, 29, pp. 1-17.
- Grigal, D. y Homann, P., 1994. Nitrogen mineralization, groundwater dynamics, and forest growth on a Minnesota outwash landscape. *Biogeochemistry*, 27, 171-185.
- Gundersen, P., Callesen, I., y de Vries, W., 1998. Nitrate leaching in forest ecosystems is related to forest floor C/N ratios. *Environmental Pollution*, 102, pp. 403-407.
- Heneghan, L., *et al.*, 1999. Soil microarthropod contributions to decomposition dynamics: Tropical-Temperate comparisons of a single substrate. *Ecology*, 80, pp. 1873-1882.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2003. *Síntesis de información geográfica del Estado de México*. Aguascalientes, México: INEGI.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2006. *Cuaderno estadístico Delegacional*. Aguascalientes, México: INEGI.
- Jones, H., 1992. *Plant and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Joshi, A.B., Vann, D.R. y Johnson, A.H., 2006. Litter quality and climate decouple nitrogen mineralization and productivity in Chilean temperate



- rainforest. *Soil Science Society of America Journal*, 70, pp. 153-162.
- Kaufmann, M. R., 1982. Evaluation of season, temperature, and water stress effects on stomata using leaf conductance model. *Plant physiology*, 69, pp. 1023-1026.
- Keeling, H. C. y Phillips, O. L., 2007. The global relationship between forest productivity and biomass. *Global Ecology and Biogeography*, 16, pp. 618-631.
- Lavelle, P., *et al.*, 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: Application to soils of the humid tropics. *Biotropica*, 25, pp. 130-150.
- Larcher, W., 1983. *Physiological plant ecology*. E.U.A: Springer-Verlag.
- Lavelle, P. y Spain, A., 2001. *Soil Ecology*. Holanda. Kluwer Academic Publishers.
- León, H.M., 2007. *Estimación de C en suelos de bosques templados y su relación con la calidad del suelo*. Tesis de Licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Maass, M., *et al.*, 2002. Distribution and annual net accumulation of above-ground phytomass and its influence on throughfall quality in a Mexican tropical deciduous forest ecosystem. *Journal of tropical Ecology*, 18, pp. 821-834.
- Martínez-Yrizar, A., 1995. Biomasa distribution and primary productivity of tropical dry forest. En: S. Bullock, Money, H. y Medina, F., ed. Cambridge UK. Seasonality dry tropical forest. Cambridge University Press. pp. 326-345.
- Mendoza, A., 2008. *Estimación de biomasa aérea y almacenamiento de carbono en paisajes de bosques templados en Cofre de Perote, Veracruz*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Newman, G., Arthur, M. y Muller, R., 2006. Above- and belowground net primary production in a temperate mixed deciduous forest. *Ecosystems*, 9, pp. 317-329.
- Nieder, R. y Benbi, D. K., 2008. *Carbon and nitrogen in terrestrial environment*. Springer.
- Nierop, K., Pulleman, M. y Marinissen, J., 2001. Management induced

- organic matter differentiation in grassland and arable soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 33, pp. 755-764.
- Novak, J. y Slodicak, M., 2004. Structure and accumulation of litter fall under Norway spruce stands in connection with thinning. *Journal of Forestry Science*, 50, pp. 101-108.
- Olson, J., 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44, pp. 322-331.
- Pastor, J., Aber, J., McClaugherty, C. y Melillo, J., 1984. Aboveground production and N and P cycling along a nitrogen mineralization gradient on Blackhawk Island, Wisconsin. *Ecology*, 65, pp. 256-268.
- Pastor, J. y Post, W., 1986. Influence of climate, soil moisture, and succession on forest carbon and nitrogen cycles. *Biogeochemistry*, 2, pp. 3-27.
- Pharis, R. P., Hellmers, H. y Schuurmans, E., 1972. The decline and recovery of photosynthesis of ponderosa pine seedlings subjected to low, but above freezing temperatures. *Canadian Journal of Botany*, 50, pp. 1965-1970
- Pérez, C., Armesto, J.J. y Ruthsatz, B., 1991. Descomposición de hojas, biomasa de raíces y características de los suelos en bosques mixtos y de coníferas y especies laurifolias en el Parque Nacional de Chiloé, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 64, pp. 479-490.
- Ramírez-Correa, A., *et al.*, 2007. Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Interciencia*, 3, pp. 303-311.
- Reich, B., *et al.*, 1997. Nitrogen mineralization and productivity in 50 hardwood and conifer stands on diverse soils. *Ecology*, 78, pp. 335-347.
- Robertson, P., *et al.*, 1999. Carbon and nitrogen availability. En: P. Robertson, *et al.*, ed. *Standard Soil Methods for long-Term Ecological Research*. Nueva York. Oxford University Press. pp. 258-265.
- Rocha-Loredo, A. G. y Ramírez-Marcial, N., 2009. Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de Pino-Encino en Chiapas. México. *Bol. Soc. Bot. Méx.*, 84, pp. 1-12.

- Roig, S., Cañellas, I. y Montero, G., 2005. Litter fall in Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. stands under different thinning regimes. *Forest Ecology and Management*, 206, pp. 179-190.
- Rojas, F., 2008. *Consideraciones para el balance de carbono: Evaluación del movimiento de biomasa en el Parque Nacional Malinche*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Runyon, J., Goward, S. y Welles, J., 1994. Environmental limits on Net Primary Production and light-use efficiency across the Oregon transect. *Ecological Applications*, 4(2), pp. 226-237.
- Slodicak, M., Novak, J. y Skovsgaard, J., 2005. Wood production, litter fall and humus accumulation in Czech thinning experiment in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). *Forest Ecology and Management*, 209, pp. 157-166.
- Sollins, P., *et al.*, 1999. Soil carbon and nitrogen: Pools and fractions. En: P. Robertson, *et al.*, eds. *Standard Soil Methods for long-Term Ecological Research*. Nueva York: Oxford University Press. pp. 258-265.
- Spaccini, R., *et al.*, 2000. Transformation of organic matter from maize residues into labile and humic fractions of three European soils as revealed by C-13 distribution and CPMAS-NMR spectra. *European Journal of Soil Science*, 51, pp. 583-594
- Stanford, G. y Smith, S., 1972. Nitrogen Mineralization Potentials of Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 36, pp. 465-472.
- Ste-Marie, C., y Houle, D., 2006. Forest floor gross and net nitrogen mineralization in three forest types in Quebec, Canada, *Soil Biol. Biochem.*, 38, 2135–2143, doi:[10.1016/j.soilbio.2006.01.017](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.01.017).
- Tan, K., 2000. Environmental soil science. Nueva York: Marcel Dekker, Inc. p. 452.
- Tate, R., 1992. *Soil Microbiology*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Tateno, R. y Takeda, H., 2003. Forest structure and tree species distribution in relation to topography-mediated heterogeneity of soil nitrogen and light in floor. *Ecological Research*, 18, pp. 59-571.
- Technicon Industrial Systems, 1977. *Technicon Industrial Method No. 329/74 W/B. Individual/simultaneous determination of nitrogen and/or*

*phosphorous in BD acid digestion*. E.U.A: Technicon Industrial System.

Van Cleve, K., *et al.*, 1983. Productivity and nutrient cycling in taiga forest ecosystem. *Canadian Journal of Forest Research*, 13, pp. 747-766.

Wall, D.H., *et al.*, 2008. Global decomposition experiment shows soil animal impacts on decomposition are climate-dependent. *Global Change Biology*, 14, pp. 2661-2667.

Xu, X. y Hirata, E., 2002. Forest floor mass and litterfall in *Pinus luchensis* plantations with and without broad-leaved trees. Japan. *Forest Ecology and Management*, 157, pp. 165-173.

---

<sup>1</sup> Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>2</sup> Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.

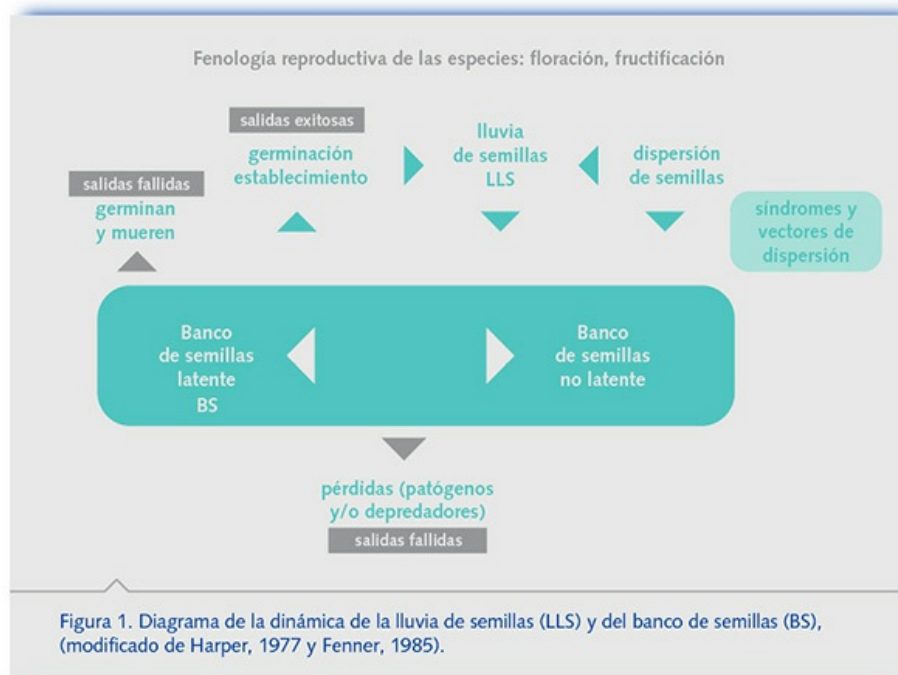
Autor para la correspondencia: \*[mgbarajasg@ciencias.unam.mx](mailto:mgbarajasg@ciencias.unam.mx)

# EL BANCO Y LA LLUVIA DE SEMILLAS COMO FUENTES DE REGENERACIÓN NATURAL DEL BOSQUE TEMPLADO DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

*Yuriana Martínez-Orea<sup>1</sup>, Silvia Castillo-Argüero<sup>1\*</sup>, Marco Antonio Romero Romero<sup>1</sup>*

## **Introducción**

Los sistemas naturales se regeneran a través de los rebrotes de las especies perennes (Harper, 1977) o mediante la reproducción sexual por la producción de semillas (Fenner, 1985), lo cual asegura el mantenimiento de la diversidad genética de las poblaciones que conforman una comunidad (Harper, 1977). Una vez que ocurre la dehiscencia (apertura espontánea de una estructura vegetal, en su madurez, para liberar su contenido), las semillas se separan de la planta madre a través del proceso de dispersión. El flujo de semillas en dispersión que va de un lugar a otro es conocido como “lluvia de semillas”. A menudo una proporción de estas se integra a un almacén en el suelo, también conocido como “banco de semillas”. En esta dinámica de la regeneración existen entradas y salidas tanto de semillas como de especies. Las primeras corresponden a la lluvia de semillas, en la cual influyen los tiempos de floración y fructificación de las especies en la vegetación establecida, es decir, su fenología reproductiva. También influyen los síndromes de dispersión de sus diásporas y la disponibilidad de los vectores de dispersión (Harper, 1977; Rabinowitz y Rapp, 1980; Howe y Smallwood, 1982). Al llegar al suelo estas diásporas se integran a un banco de semillas, en donde permanecen viables por tiempos distintos, de acuerdo a factores como su longevidad, latencia y sus requerimientos fisicoquímicos para germinar (Baskin y Baskin, 1998). Las salidas del banco de semillas pueden ser positivas o negativas. Cuando las semillas germinan y las plántulas se establecen se consideran positivas o exitosas, pues contribuirán a la regeneración del sistema. Cuando las semillas no germinan por la ausencia de las condiciones de humedad, luz y/o temperatura idóneas para hacerlo, o cuando mueren por parasitismo o depredación constituyen salidas negativas (Harper, 1977; Fenner, 1985; Baskin y Baskin, 1998) (Figura 1).



**Figura 1**

En el marco de la regeneración natural, resulta crucial estimar la diversidad de un sistema, con sus variaciones espacio-temporales, conocer las pérdidas por disturbios naturales o antropogénicos, analizando la entrada de propágulos a través de la lluvia de semillas y la formación de un banco en el suelo. Asimismo, en la formulación de indicadores del estado de conservación de un ecosistema, se deben considerar, la presencia de propágulos y de plántulas de especies nativas, contribuye de alguna manera a la permanencia de estas especies y por lo tanto a la resiliencia del bosque (Bertiller y Aloia, 1997; Laborde *et al.*, 2008).

En los bosques templados tanto la lluvia de semillas como los bancos en el suelo son muy heterogéneos en composición de especies y en sus abundancias en espacio y tiempo. Entre las variables que los influyen figuran la abundancia de especies en la vegetación establecida y su fenología reproductiva, la disponibilidad de vectores de dispersión, la variabilidad de síndromes de dispersión y la fragmentación del bosque (Young *et al.*, 1987; Saulei y Swaine, 1988).

Existe también una variabilidad en la relación entre el banco y la lluvia de semillas, con la vegetación establecida. Lo anterior se relaciona con factores como el estadio sucesional de la vegetación y el régimen de disturbio de un sitio. Es fundamental el análisis de estas relaciones para conocer la dinámica de los bosques templados y entender sus cambios en

su composición en el tiempo, así como para conocer la identidad de las especies disponibles para su regeneración natural. Este análisis es también importante para explicar la dominancia de algunas especies indicadoras de un buen estado de conservación o indicadoras de disturbio (Clark *et al.*, 1999; Moles y Drake, 1999).

El establecimiento de especies introducidas, la dominancia de algunas especies de estadios sucesionales secundarios en las fuentes de regeneración y el tamaño y composición tanto de la lluvia como del banco de semillas, son evidencias de los cambios en la composición florística de una comunidad (Moles y Drake, 1999). Como fuentes de propágulos, la lluvia y el banco de semillas son primordiales para la regeneración natural y ante disturbios como la deforestación, los incendios, la agricultura y la ganadería extensivas, que se modifican gradualmente y pueden reducir las poblaciones de las especies que brindan resiliencia al sistema (Nathan y Muller-Landau, 2000; Moffatt y McLachlan, 2003).

La extensión de los bosques templados en México abarcaba una superficie de 32, 751, 060 ha (Challenger, 2007) representando el 54% del territorio nacional (Rzedowski, 1978). Pese a su gran importancia por la diversidad florística que albergan al incluir especies tanto de afinidades boreales como neotropicales y por la infinidad de servicios ecosistémicos que brindan a la población humana, ha sido modificada por la agricultura, la ganadería y la urbanización hasta un 50% de su área original (Challenger, 1998; Álvarez, 2000).

Los bosques templados de la cuenca de México no escapan a este destino de pérdida de cobertura y biodiversidad. Como ejemplo tenemos a los que están en la CRM, los cuales enfrentan una pérdida anual de 240 ha de vegetación. En esta zona la urbanización, los asentamientos irregulares, la tala y los incendios forestales son presiones constantes (Ávila-Akerberg, 2002; 2004; Almeida-Leñero *et al.*, 2007).

Este trabajo tiene como objetivo evaluar el potencial de regeneración natural del bosque y detectar especies de malezas y/o especies introducidas presentes a través del análisis de la composición y abundancia de la lluvia y del banco de semillas, así como su variabilidad en espacio y tiempo. Así como, estimar la similitud de especies entre ambas fuentes de propágulos y con la vegetación establecida.

## **Método**

### ***Sitio de estudio***

El estudio se realizó en el bosque templado de laCRM, el cual está constituido por tres tipos de bosques: de *Quercus rugosa-Quercus laurina* (BQ), de *Abies religiosa* (BA) y de *Pinus hartwegii* (BP) (Almeida-Leñero *et al.*, 2007).

### ***Lluvia de semillas (LLS)***

En marzo del 2007, en cada tipo de bosque, se colocaron al nivel del suelo, 30 trampas colectoras de la lluvia de semillas de 50cm de diámetro. Cada dos meses durante un año (para abarcar las épocas de lluvias y secas) se recolectó el material depositado en ellas. Se separaron los frutos y semillas (diásporas) y se realizó su identificación, cuando fue posible hasta el nivel de especie, con un microscopio estereoscópico Olympus modelo S2-ST con intervalo de aumentos de 1.8 X a 11 X. Se consultaron bases de datos y revisión de ejemplares de herbario (MEXU), así como de claves taxonómicas para flora vascular del Valle de México (Rzedowski y Rzedowski, 2005). A las diásporas se les asignó un vector de dispersión de acuerdo con van der Pijl (1982).

### ***Banco de semillas (BS)***

En los tres tipos de bosques bajo estudio se recolectaron muestras de los seis cm superficiales del suelo, por ser donde está ubicada la mayor proporción del banco (Thompson, 2000), una recolecta de 90 muestras se realizó en la época seca (febrero del 2008) y otra (del mismo número) al final de la época lluviosa (octubre del 2008). Se eliminaron bulbos y demás estructuras perennes. Cada muestra se colocó en charolas de 25 × 15 cm, y 8 cm de profundidad. Las plántulas emergidas del banco fueron trasplantadas a macetas para permitir su crecimiento e identificación, de acuerdo con Thompson (1987).

### ***Análisis de la información***

Se registró el número de diásporas en la LLS y de plántulas en el BS, así como el número de especies en ambas fuentes de propágulos, para cada una se realizó un Análisis de Varianza de dos factores con el programa StatSoftInc, 2000; para encontrar diferencias entre tipos de vegetación y épocas, los datos fueron transformados previamente a su logaritmo natural [ $\ln(x + 1)$ ] para cumplir con los supuestos de normalidad (x es el número



de especies, de semillas/plántulas).

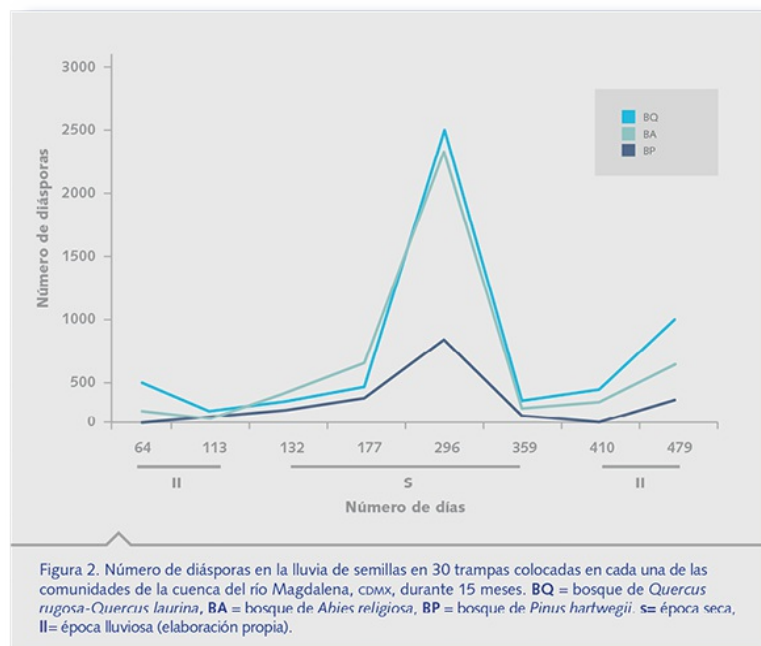
Para conocer la variabilidad de LLS y del BS se calculó el coeficiente de variación para cada fuente de propágulos y en los diferentes tipos de bosque, tanto en la época seca como en la lluviosa:  $CV = (s / x) * 100$ , dónde: s es la desviación estándar del número de semillas/plántulas de las diferentes especies por tipo de vegetación y por época, y x es el promedio del número de semillas/plántulas de las especies por tipo de vegetación y época (Zar, 1974). Posteriormente, se realizaron pruebas de *F* para determinar si los coeficientes de variación fueron estadísticamente diferentes (Zar, 1974), para lo cual se transformaron los datos con logaritmo base 10 y se aplicó la siguiente fórmula:  $F = (S^2 \log)1 / (S^2 \log)2$ , dónde  $S^2$  es la varianza de los logaritmos del número de diásporas/plántulas.

Para comparar la composición de especies entre LLS y BS, y entre ambas fuentes de propágulos con respecto a la de la vegetación establecida, se calculó el índice de similitud de Sørensen ( $C_s = 2j / (a + b) * 100$ , dónde j es el número de especies encontradas en ambos sitios, a es el número de especies en el sitio A y b es el número de especies en el sitio B (Magurran, 1998). Esta comparación se realizó utilizando los listados florísticos reportados por Ávila-Akerberg (2002; 2004) para el área de estudio.

## Resultados

***Abundancia de la lluvia de semillas LLS.***- Se registró un total de 10 926 diásporas. Por tipos de bosque el BQ presentó el mayor valor de abundancia (5 167 diásporas), para el bosque de BA se contabilizaron 4 253 diásporas, mientras que el bosque de BP presentó la menor abundancia (1 506 semillas). La lluvia de semillas fue continua en los tres tipos de vegetación, sin embargo, se observaron dos picos, uno mayor a los 296 y otro menor a los 479 días de haberse iniciado la recolección de semillas, que corresponden a la época seca (abril) y al final de la de lluvias (octubre), respectivamente (Figura 2). Durante la época seca se capturó un total de 9 078 diásporas, lo que corresponde al 83.08% del total de la LLS, mientras que durante la época lluviosa se registraron 1,848 diásporas

(16.91%). La mayoría de las diásporas (45%) en la LLS presentó una dispersión anemócora (por viento).



**Figura 2**

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los tres tipos de bosques ( $F_{2, 720} = 20.144$ ,  $p < 0.001$ ), así como entre épocas del año ( $F_{1, 720} = 371.512$ ,  $p < 0.001$ ).

**Riqueza de la lluvia de semillas.** - Se encontraron 147 especies de diásporas de la flora vascular, de las cuales 81% fueron identificadas a nivel de especie. El bosque BQ presentó el mayor número de especies (107 especies), BA presentó 103 especies, mientras que BP presentó el menor valor: 49 especies. La presencia de un mayor número de especies en los tres tipos de bosques ocurrió en la época de secas a los 296 días (abril). Se observaron porcentajes distintos de especies en la LLS en el tiempo: 39.3% de las especies se encontraron durante la época lluviosa, mientras que durante la época seca se registró 60% de las especies. El tipo de vegetación y la época mostraron tener un efecto significativo sobre el número de especies de la lluvia de semillas ( $F_{2, 720} = 39.66$ ,  $p < 0.001$  y  $F_{1, 720} = 262.49$ ,  $p < 0.001$ , respectivamente).

### ***Coeficientes de variación***

El valor del coeficiente de variación (CV) en este trabajo hace referencia a

la variabilidad en la lluvia de semillas en cada tipo de bosque y en cada época. El bosque BP mostró el mayor valor de variación (18%). Los valores para los bosques BQ y BA fueron menores: 11% y 14% respectivamente. A pesar de lo anterior, la prueba de  $F$  no mostró diferencias significativas entre estos valores. Por época de muestreo la época de lluvias mostró un valor de 19%, mientras que la seca presentó un CV del 27%, ambos fueron significativamente distintos de acuerdo con la prueba de  $F_{0.05} = 1.55$ .

De manera global, los bosques BQ y BA compartieron el mayor número de especies (46%) (44 especies compartidas), a su vez, el BQ compartió 15 especies con BP (24%). Por último, BA y BP compartieron 13 especies (22%). El número de especies compartidas entre las dos épocas de muestreo fue de 91, por lo que el valor del índice de similitud entre ambas fue de 76%.

**Composición de la lluvia de semillas.** - *Ageratina enixa* (Rob.) King & Rob. (arbusto) fue la especie más abundante en la lluvia de semillas global (12%, 1 352 diásporas), distribuida en BQ y en BA (Figura 3). Por tipo de bosque las especies arbóreas más abundantes fueron *Quercus rugosa* Née., *Abies religiosa* H. B. K. Cham. & Schlecht y *Pinus hartwegii* Lindl. en los bosques de los cuales son características.

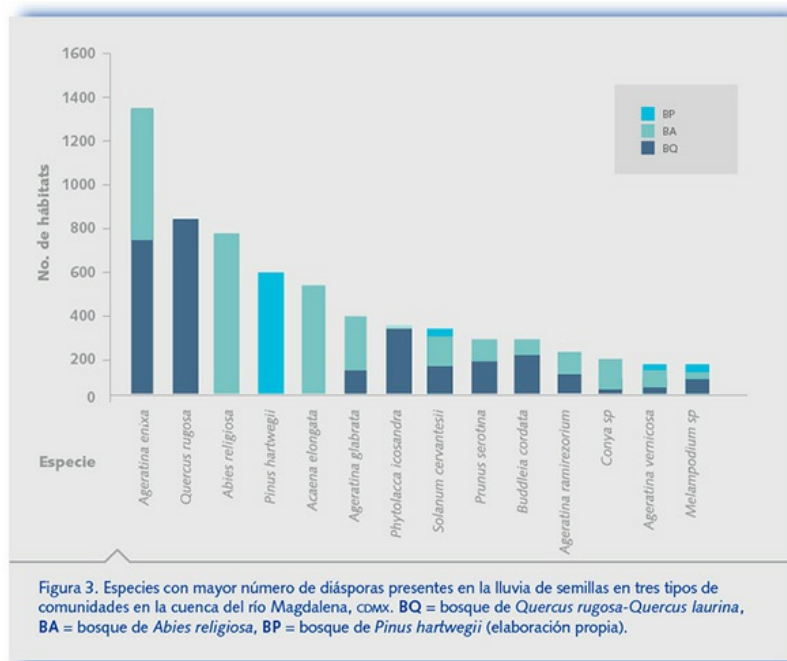


Figura 3

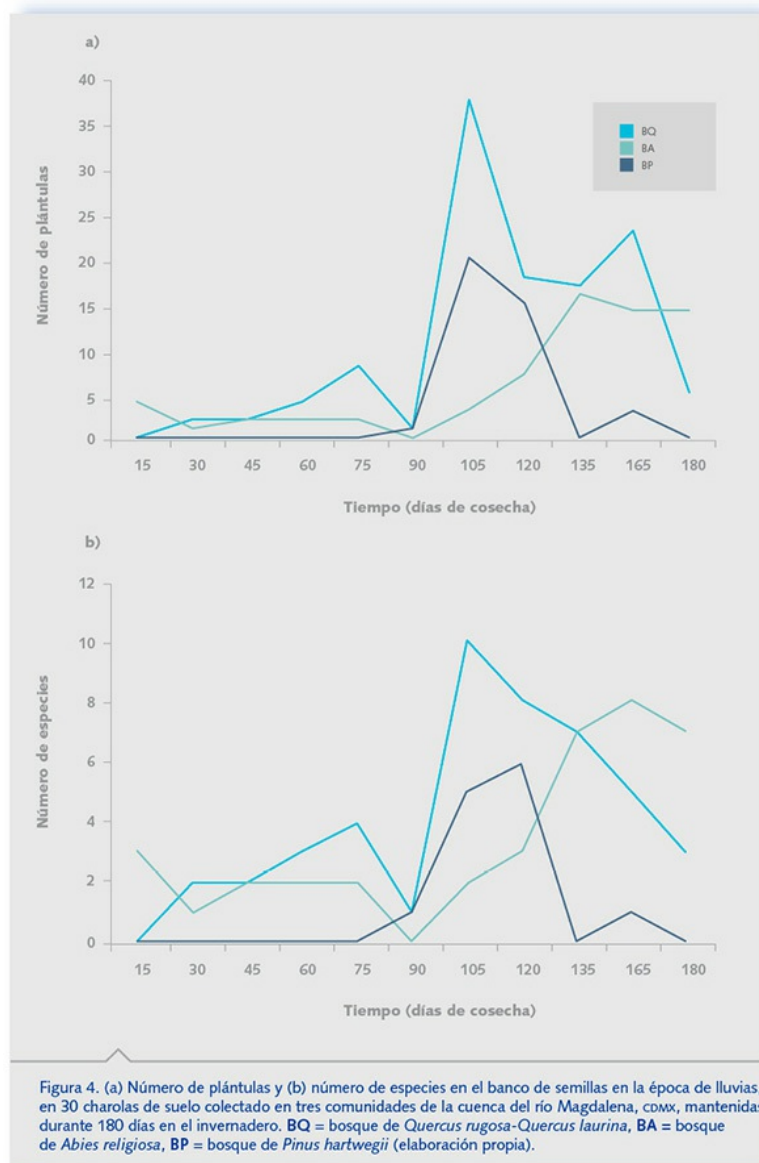
Las familias mejor representadas por el número de especies en la lluvia de semillas fueron la Asteraceae (52), Poaceae (13), Rosaceae (12), Solanaceae (7), Cyperaceae (6), Scrophulariaceae (6), Lamiaceae (5), Commelinaceae (3), Euphorbiaceae (3), Urticaceae (3). Mientras que las 20 familias restantes presentaron sólo una o dos especies.

Aproximadamente 25% de las especies reportadas en los listados florísticos de la CRM (469 especies) (Ávila-Akerberg, 2002) se registró en la lluvia de semillas.

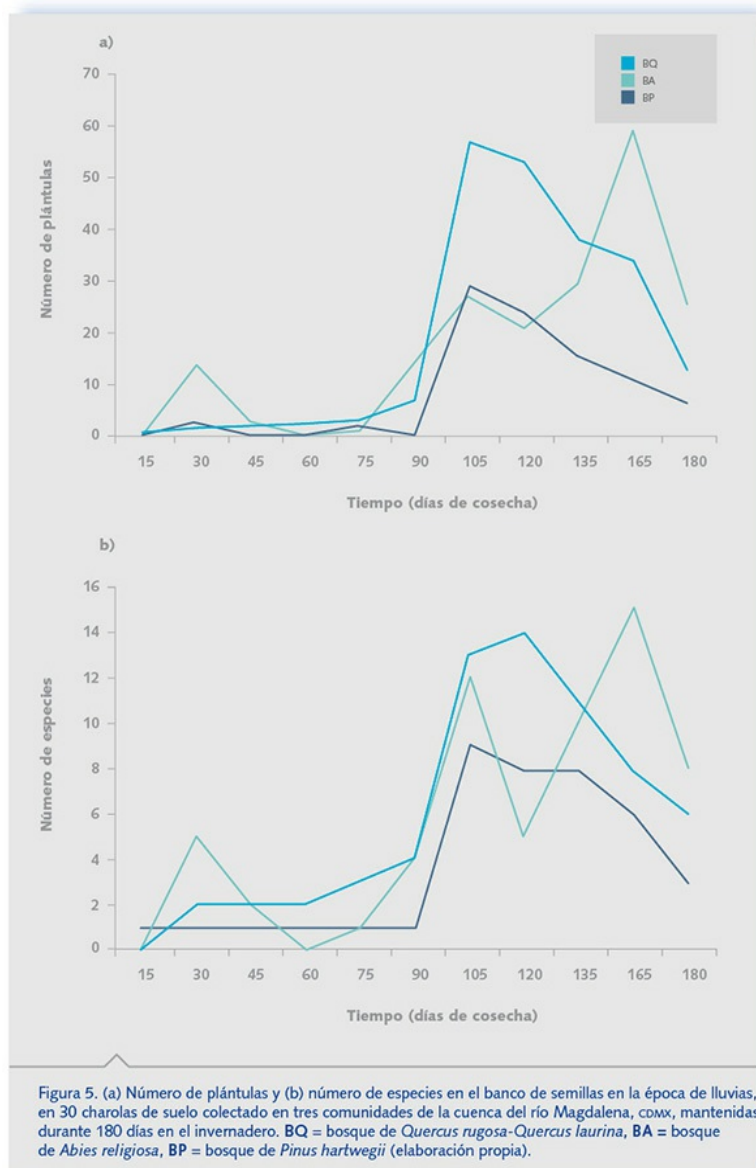
En relación con el tipo de ciclo de vida de las especies presentes en la lluvia de semillas, se registraron 15 especies anuales, distribuidas en 9 familias y con números de diásporas distribuidos de la manera siguiente: 324 para el bosque de BQ, 79 para el BA y 44 diásporas para el BP. Las especies perennes estuvieron representadas por 107 especies de 27 familias, de las cuales se recolectaron 4449 diásporas para el bosque de BQ, 3 859 para BA y 1 329 para BP. Las hierbas (78 especies, 65%) y los arbustos (26 especies, 25%) fueron las formas de crecimiento más abundantes. Mientras que solo diez especies (7.8%) de la LLS son árboles.

***Abundancia del banco de semillas BS.***- Se observó la emergencia de 725 plántulas de 39 especies en el BS. Se cuantificaron 222 plántulas de 38 especies que emergieron del suelo recolectado durante la época seca. De la recolecta realizada durante la época de lluvias emergieron 503 plántulas de 38 especies. En las recolectas de la época seca BQ presentó un mayor número de plántulas y de especies a los 105 días de cosecha. El banco de semillas del BA presentó una mayor emergencia a los 135 días de cosecha, en este bosque el máximo de especies ocurrió a los 165 días de cosecha. BP mostró también un mayor número de plántulas a los 105 días y su máximo de especies se observó a los 120 días de cosecha (Figura 4 a, b). Para la recolecta de suelo realizada durante la época lluviosa, la mayor emergencia de plántulas para el BS de BA se observó a los 165 días de cosecha, mientras que para BQ y BP ocurrió a los 105 días. El número máximo de especies germinadas por día de cosecha para BP ocurrió a los 105 días, a los 120 días para BQ y a los 165 días para BA (Figura 5a y b). El banco de semillas con el mayor número de plántulas en las colectas de ambas épocas fue el de BQ. El análisis de varianza mostró diferencias

significativas en el número de plántulas entre los tres tipos de bosques ( $F2, 174 = 10.76, p < 0.001$ ), y entre los muestreos correspondientes a la época seca y a la de lluvias ( $F1, 174 = 17.42, p < 0.0001$ ).



**Figura 4 (a) y (b)**



**Figura 5 (a) y (b)**

**Número de especies en el banco de semillas.** - Del BS emergieron 39 especies en total. BQ presentó 21 especies, 18 durante la época seca y 19 durante la lluviosa. BA presentó 31 especies, 23 de ellas presentes durante la época seca y 29 durante la de lluvias. Por último, BP presentó 14 especies en su BS, 11 emergieron del suelo recolectado en la época seca y 14 en la de lluvias. El análisis de varianza mostró que existe un efecto significativo en el número promedio de especies del banco de semillas por el factor tipo de bosque y por el factor época de colecta del suelo. El número promedio de especies en el banco de semillas mostró diferencias significativas por tipo de bosque ( $F_{2, 174} = 13.19, p < 0.001$ ). El factor

época también fue significativo ( $F_{1, 174} = 14.14, p = 0.00023$ ). Como ya se mencionó la interacción de estos factores no fue significativa ( $F_{2, 174} = 1.7, p = 0.18$ ).

**Coefficiente de variación.** - En general los coeficientes de variación fueron cercanos o mayores al 50% para los tipos de vegetación y épocas. Se observaron diferencias significativas entre algunos valores del CV correspondientes a tipos de vegetación y épocas (Tabla 1).

**Tabla 1**

Tabla 1. Valores del coeficiente de variación (CV) para las tres comunidades de la cuenca del río Magdalena, comx, y para las dos épocas de muestreo del banco de semillas. Se incluye el valor de la prueba de F para la comparación de los valores del CV. Diferencias significativas (\*\*\*). (Elaboración propia).

Tipo de bosque	CV %	F
BQ	49	BQ-BA ns
BA	74	BA-BP ***
BP	38	BP-BQ ***
época seca	73	época seca-época lluviosa ***
época lluviosa	78	

**Similitud.** - El banco de semillas mostró valores de similitud cercanos al 50% entre los tres tipos de bosques. El mayor valor de similitud se observó entre BE y BA (57%), con 15 especies compartidas entre ellos. Entre el BP y BA se compartieron 10 especies (40%), y entre el BE y BP se compartieron 7 especies (35%).

**Composición del BS.**- La presencia de 39 especies de 14 familias y 24 géneros de plántulas de la flora vascular mostraron las siguientes características en cuanto a composición. La familia mejor representada por el número de especies fue la Asteraceae, con 19 especies y 274 plántulas. La familia Poaceae presentó cuatro especies de las cuales emergieron 92 plántulas, siendo la que ocupó el segundo lugar en orden descendiente por el número de especies. Las especies más abundantes del BS fueron *Bacharis conferta* y *Bromus dolichocarpus*. Por tipo de bosque con su variante época se observó que *B. conferta* y *Euphorbia prostrata* fueron las especies más abundantes en la época seca. Para la época de lluvias las mejor representadas fueron *Fuchsia thymifolia* y *Trisetum virletii*. La mayoría de las plántulas (73%) corresponden a especies herbáceas, 23% son arbustivas y 2.5% especies arbóreas (únicamente *Q. rugosa* se

encontrón en el BS –en el tipo de bosque que lleva su nombre-). El 53% de las especies en el BS son especies de bosque templado, 39% corresponde a especies de la vegetación secundaria y 8% a especies introducidas, como ejemplo *Sonchus oleraceus* y *Taraxacum officinale*. Cabe notar que en términos de la proporción de especies del banco de semillas, que a su vez han sido reportadas por Ávila-Akerberg (2002) para los bosques de la CRM, sólo estuvo representado un 6%.

***Similitud entre LLS, BS y vegetación en pie.*** - Entre la vegetación en pie y la lluvia de semillas la similitud de especies fue del 40%, entre la lluvia de semillas y el banco de semillas 33% de las especies fueron compartidas. Finalmente, entre la vegetación en pie y el banco de semillas sólo 9% de las especies fueron compartidas.

### **Discusión**

En el bosque templado de la CRM la lluvia y el BS son sumamente estacionales y heterogéneos. Pese a que tres tipos de bosques distintos conforman este bosque templado, algunos factores como la orientación de la ladera y el tipo de suelo entre estos pueden ser muy variables (Ávila-Akerberg, 2004), y a su vez favorecen el establecimiento de una flora diversa y heterogénea en cuanto a sus patrones estructurales (Santibáñez-Andrade, 2009). Debido a estos factores, la regeneración natural refleja la complejidad de la vegetación en pie. Otro factor que agrega heterogeneidad a los procesos de la regeneración natural de este bosque es el régimen de disturbio, pues existen fragmentos conservados de bosque inmersos en una matriz de sitios con distinto grado de perturbación, como aquellos utilizados para la agricultura, algunos de ellos abandonados posteriormente, otros utilizados para la ganadería extensiva y otros deforestados y/o urbanizados (Almeida-Leñero *et al.*, 2007). Lo anterior tiene influencia directa sobre la composición, abundancia y sombra de dispersión de las especies en la lluvia de semillas y su posterior incorporación y permanencia en el BS.

En este sentido las diásporas que ingresan a un sistema tienen principalmente dos orígenes, en general se habla de diásporas autóctonas y diásporas alóctonas (Martínez-Ramos y Soto-Castro, 1993). Como especies autóctonas figuran aquellas que habitan comúnmente los bosques



templados maduros de la región. También se registraron otras especies que son comunes en ambientes perturbados y provienen de sitios de claro de bosque con vegetación secundaria, especies ruderales y/o arvenses. La fracción alóctona está compuesta por especies de ambientes ruderales y por especies introducidas. Las especies de malezas nativas tanto ruderales como arvenses, no sólo se deben considerar como indicadoras de disturbio, sino también se debe cuantificar su importancia en término de las posibles funciones que desempeñan en estadios sucesionales secundarios (Zavala *et al.* 2003). Por lo tanto, es necesario estudiar su papel después de diferentes disturbios tanto en el sitio de estudio como en bosques templados en condiciones parecidas, sobre todo de aquellos aledaños a zonas urbanas, de particular importancia si consideramos que existe un flujo de diásporas a través de la lluvia de semillas de especies ruderales y de aquellas utilizadas como especies de ornato en jardines de la ciudad (como algunas especies introducidas). De acuerdo con Šerá (2005) la presencia de diásporas de especies típicas del tipo de vegetación original en un sitio indica que existen aún las condiciones para la reproducción y dispersión de las mismas. La proporción de especies típicas de bosques templados de la cuenca de México, encontradas en la lluvia y/o en el banco de semillas, constituye el potencial de regeneración natural del bosque de la CRM y le pueden conferir resiliencia. El análisis de la lluvia y del banco de semillas puede ser utilizado como indicador del estado de conservación del sistema, ya que, si algunas especies están presentes en estas fuentes de regeneración, podemos inferir que al menos por un tiempo forman parte de la estructura y composición de la comunidad o en sitios aledaños. La identidad de las especies y sus abundancias tendrán influencia sobre los posibles cambios en la estructura de la comunidad y en la dinámica después de un disturbio (Dovciak *et al.*, 2003).

La presencia de diásporas de especies alóctonas en la lluvia de semillas, en particular de aquellas introducidas, indica que han ocurrido cambios en el bosque templado o en áreas aledañas, resultado de actividades antropogénicas como la agricultura, principalmente (Nathan y Muller-Landau, 2000). Algunos factores ambientales o variables inherentes a la reproducción de estas especies favorecen su abundancia, lo que puede generar cambios importantes en la composición y abundancia

del banco y la lluvia de semillas de la comunidad. Ante la pérdida de diversidad que presumiblemente provocan las especies introducidas (consideradas a menudo como invasoras) (Nathan y Muller-Landau, 2000), es necesario como primer paso evaluar su distribución y abundancia en la vegetación establecida en los bosques templados de la cuenca de México. Además, se deben estudiar las características de su biología reproductiva, con el fin de identificar si las poblaciones son reducidas y restringidas o grandes y ampliamente distribuidas. Esto con el objetivo de reportar con bases sólidas un posible estado de invasión, sin olvidar que para ser denominadas especies invasoras, las especies introducidas tienen que atravesar numerosos filtros ecológicos y finalmente desplazar a una especie nativa (Colauti y MacIssac, 2004). Afortunadamente en el sitio de estudio, la cantidad de diásporas de origen autóctono en las fuentes de regeneración natural fue mayor. En términos de la identidad de las especies por los tipos de bosque que habitan, en la lluvia de semillas, 64 especies son características de bosques templados húmedos como encinares, bosques de *Abies*, zacatonal alpino, matorral y tipos de comunidades que se distribuyen en la región montañosa de la cuenca de México a altitudes entre los 2 250 y los 3 950 msnm (Rzedowski y Rzedowski, 2005). Algunas son de amplia distribución en la cuenca de México y en la parte central del país, por ejemplo, las especies más abundantes en la lluvia de semillas como *Ageratina enixa*, *Quercus rugosa* y *Abies religiosa*, en ocasiones estas especies forman bosques monoespecíficos, y conformaron un 56% de la lluvia de semillas (Martínez-Orea, 2011).

Las 42 especies características de sitios perturbados y de la vegetación secundaria encontradas en este sitio, se consideran también malezas arvenses o de tipo ruderal, crecen a orillas de caminos o en sitios perturbados (Rzedowski y Rzedowski, 2005). Estas especies conformaron un 36% de la lluvia de semillas total, entre las más abundantes se encuentran: *Acaena elongata*, *Phytolaca iccosandra*, *Solanum cervantesi*, *Buddleia cordata*, *Salvia mexicana*, *Potentilla haematochrus*, *Montanoa frutescens* y *Ageratina lucida*.

En la lluvia de semillas se encontraron nueve especies no nativas (introducidas) en el siguiente orden de abundancia: *Poa pratensis*, cuyo

origen es Europa y se encuentra ahora en todo el mundo (Rzedowski y Rzedowski, 2005). Sus cariopsis se encontraron en BA (57) y en BP (89). *Duchesnea indica* es una especie introducida de Asia, con 47 aquenios en BA y cinco en BP. *Penisetum villosum* es una especie introducida de África (Rzedowski y Rzedowski, 2005), y sus cariopsis se encontraron sólo en BQ (42). *Poa annua* es una especie europea con siete cariopsis recolectadas en BA. *Erodium cicutarium*, introducida del sureste de Europa (Rzedowski y Rzedowski, 2005), mostró abundancias de tres y dos esquizocarpos recolectados en BQ y BA, respectivamente. *Sonchus oleraceus* es nativa de Eurasia (Rzedowski y Rzedowski, 2005) y se encontraron cinco aquenios de esta especie en BQ. *Euphorbia peplus* es una especie euroasiática naturalizada en América (Rzedowski y Rzedowski, 2005), con tres semillas en el BQ. *Taraxacum officinale*, especie originaria de Eurasia, de muy amplia distribución en el mundo, presentó dos aquenios. *Urtica urens* presentó sólo un aquenio en BA y es una maleza introducida de Europa, la cual se ha reportado como rara en la cuenca de México (Rzedowski y Rzedowski, 2005). Estas especies conformaron un 7.8% de las especies presentes en la lluvia de semillas.

Ya que las diferencias en espacio y tiempo de la lluvia de semillas son un reflejo de la composición de especies de la vegetación establecida (Álvarez-Buylla y Martínez-Ramos, 1990) y de la heterogeneidad biótica y abiótica de un sitio (Paluch, 2011), las diferencias en la composición y estructura de los bosques estudiados tienen influencias directas sobre las diferencias significativas en la riqueza de la lluvia de semillas. Cabe mencionar que resultados similares en estacionalidad y abundancia de la lluvia de semillas se han observado para otros bosques templados. Del Castillo y Pérez (2008) reportaron para un bosque templado de niebla una densidad de  $\approx 58\,725$  diásporas año<sup>-1</sup>, cifra mayor a la registrada en el presente estudio (1 855 diásporas año<sup>-1</sup>). Por su parte, Grombone-Guarantini y Ribeiro-Rodrigues (2002) reportaron para un bosque semi-deciduo una densidad de 493 diásporas m<sup>-2</sup> durante la época seca, mientras que para la CRM se observaron 1 541 diásporas m<sup>-2</sup> para la misma época. Para un bosque de oyamel Hofgaard (1993) reportó una densidad de 79 diásporas m<sup>-2</sup> durante un año. Lo anterior evidencia que la lluvia de semillas no sólo varía en densidad y en su estacionalidad en un ambiente,

sino que también se presenta una variación importante entre bosques, la cual es consecuencia de variables como la composición y estructura de la vegetación, de la fenología de las especies en un sitio (Harper, 1977) y del régimen de disturbio que lo afecta (Martínez-Orea *et al.*, 2013).

Otras variables que también influyen en la densidad de la lluvia de semillas son la distancia a la que se encuentra la fuente de diásporas, su capacidad de dispersión (por características como su peso, forma, apéndices especializados para la dispersión) y la efectividad de los agentes de dispersión (Bonvissuto y Busso, 2007). En particular para la CRM la vegetación en pie posee una mayor cobertura arbórea y arbustiva en BQ y BA (Ávila-Akerberg, 2004), mismos que presentaron mayores valores de densidad y de número de diásporas, a diferencia de BP, cuyas coberturas de dichos estratos son menores (Ávila-Akerberg, 2004). En cuanto a la heterogeneidad en el tiempo, se observó que la lluvia de semillas fue mayor durante la época seca, en la cual los vientos son más fuertes en la cuenca de México (Martínez-Orea *et al.*, 2012) y cuando la mayoría de las especies arbustivas y herbáceas, así como *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii* presentan semillas maduras (Díaz, comunicación personal). Asimismo dado que la familia Asteraceae es un componente importante de la flora de estos bosques templados (Ávila-Akerberg, 2002; 2004), destacó la abundancia de diásporas con apéndices especializados (papus) para la dispersión anemócora (Martínez-Orea *et al.*, 2012).

Por su parte, el banco de semillas en el área de estudio presentó menor densidad (214 plántulas  $m^{-2}$ ) en comparación con lo reportado por otros estudios realizados en bosques templados y boreales. Granström (1982) reportó una densidad entre 239-763 plántulas  $m^{-2}$  en bosques templados de Suecia. Leckie *et al.* (2000) encontraron 1 218 plántulas  $m^{-2}$ , Kostel-Hughes *et al.* (1998) reportaron 5 373  $m^{-2}$  plántulas en el banco de semillas de un bosque templado inmerso en un área urbana y Decocq *et al.* (2004) reportaron 8 296 semillas  $m^{-2}$  germinadas en un bosque templado bajo manejo forestal. En este sentido los estudios del banco de semillas en bosques templados muestran que es una fuente de regeneración muy dinámica, y muy variable en su tamaño, por lo que sus densidades pueden variar desde unas 500 a 8 000 semillas  $m^{-2}$  (Kellman, 1970; Hill y Stevens, 1981; Kjellsson, 1992). Esta variabilidad responde tanto a causas

naturales, como la densidad de la vegetación establecida (Leckie *et al.*, 2000), así como a factores antropogénicos como la entrada de especies de carácter ruderal y arvense que producen grandes cantidades de semillas (Decocq *et al.*, 2004). Cabe señalar que la mayor densidad del banco de semillas fue la del BQ, porque su vegetación establecida presenta mayor cobertura y número de especies arbustivas y herbáceas (Ávila-Akerberg, 2004). La dinámica de los bancos de semillas ha sido descrita para algunos sistemas establecidos en cuencas donde se practica la agricultura extensiva y el posterior abandono de las tierras. Se ha visto que dichas prácticas generan sitios abiertos comúnmente colonizados por especies ruderales y arvenses (Domenech *et al.*, 2005) pues además sus semillas pueden ser muy longevas (Egley y Chandler, 1983). Esta situación se presenta también en los bosques templados de nuestro país, en los de la cuenca de México y en particular en los de la CRM, en los cuales se practica la tala de especies maderables con el posterior establecimiento de tierras agrícolas y en ocasiones, el abandono de estas (Challenger, 1998; Ávila-Akerberg, 2004). Esto explica que un 39% de las especies del banco de semillas corresponda a malezas típicas de campos de cultivo y bosques deforestados (Honnay *et al.*, 2002), donde se favorece la germinación de herbáceas y gramínoideas sobre la de especies arbóreas, cuyos requerimientos germinativos y tiempos de viabilidad son distintos (Korb *et al.*, 2005). Esta información se debe considerar al momento de estimar el efecto de los disturbios antropogénicos y de evaluar el estado de conservación de un bosque desde el enfoque de las fuentes de regeneración natural como el banco de semillas, pues a partir de un análisis de su abundancia y composición, se puede evaluar su potencial para contribuir a la regeneración natural de un sitio (Korb *et al.*, 2005). También debemos tomar en cuenta que la apertura de claros en los bosques por disturbios antropogénicos permite la entrada de especies que demandan luz para germinar y establecerse, que son altamente competitivas (Honnay *et al.*, 2002) y que forman un almacén de semillas en el suelo. La emergencia de estas especies en condiciones de invernadero pudo además verse estimulada por la ausencia de la sombra que sería proveída por un dosel arbustivo y arbóreo en condiciones naturales. Otro factor que modifica la composición y la densidad del banco de semillas del suelo es la producción

de propágulos. Por ejemplo *A. religiosa* se caracteriza por presentar años semilleros en los cuales la producción de semillas es favorecida por condiciones de humedad y temperatura óptimas, sin embargo, las condiciones para la germinación de sus semillas no siempre son las óptimas (Nieto de Pascual, 1995). Este punto se debe tomar en cuenta para explicar la ausencia en el banco de semillas emergente en condiciones de invernadero de especies arbóreas como *A. religiosa* y *P. hartwegii*. No se registró la emergencia de plántulas de éstas especies arbóreas, únicamente de *Q. rugosa*. Debemos considerar que al llevar las muestras de suelo al invernadero para observar la germinación de las especies, los requerimientos de algunas que probablemente estaban contenidas en el suelo pudieron no haber sido cubiertos y no germinaron. Se sabe que el valor de la temperatura es fundamental para la germinación de las especies (Baskin y Baskin, 1998). Es pertinente considerar la diferencia entre las temperaturas registradas en el campo y aquellas en el invernadero, condiciones de serotinia y/o de latencia para explicar la ausencia de algunas especies de plántulas como las arbóreas. La dominancia de especies herbáceas es un indicador de los cambios que ocurren en la estructura de la comunidad después de una perturbación. Es común que mientras la vegetación establecida esté dominada por un estrato arbóreo, la composición del banco de semillas esté dominada por herbáceas (Moscoso y Diez, 2005; Hopfensperger, 2007). Esto es porque las especies herbáceas tienen un papel importante en la regeneración de los bosques (Warr *et al.*, 1993). Algunas de estas también se encuentran en el sotobosque en etapas diferentes del proceso de regeneración. Esto explica la dominancia de especies herbáceas (perennes y anuales) en el banco de semillas del bosque de la CRM, varias de ellas propias de estadios sucesionales tempranos de otros bosques templados (Schiffman y Johnson, 1992), sobre todo en aquellos que han sido fragmentados o deforestados con propósitos agrícolas. Estas especies generalmente son formadoras de bancos de semillas permanentes como *Taraxacum officinale*, *Sonchus oleraceus* (especies introducidas) y algunas especies del género *Senecio* (Thompson, 1992; 2000) y por lo tanto pueden permanecer viables en el suelo por largos periodos de tiempo (Álvarez-Aquino *et al.*, 2005; Ortiz-Arrona *et al.*, 2008).

Asimismo en este estudio la abundancia de semillas y de plántulas de arbustos en BA fue mayor en comparación con BQ y BP. Es difícil explicar estas diferencias, ya que hay que considerar por un lado la distribución natural de cada una de las especies en los bosques, así como sus patrones fenológicos, dado que estos pueden determinar su incorporación diferencial en espacio y/o tiempo. Si consideramos que los bosques maduros de *Abies religiosa* poseen únicamente un estrato arbóreo dominante y que la presencia de especies herbáceas y arbustivas en la vegetación establecida sugiere la ocurrencia de disturbios sobre todo antropogénicos (Rzedowski y Rzedowski, 2005), la abundancia de estas especies en ambas fuentes de regeneración puede considerarse como indicador de que estos bosques se encuentran en sucesión secundaria.

Si tomamos en cuenta a las especies exclusivas de cada fuente de propágulos y sus abundancias en cada tipo de vegetación, tendremos a detalle información de las especies que están disponibles como acervo de la dinámica particular de cada sistema (Wolters y Bakker, 2002). En el bosque templado de la CRM el banco y la lluvia de semillas contienen en mayor proporción especies herbáceas, con un componente perenne importante, por lo que la composición de especies en el banco de semillas no refleja en su totalidad la composición de la vegetación establecida, siendo un patrón común en varios bosques templados sucesionales (Moscoso y Diez, 2005; Hopfensperger, 2007). Por lo anterior resulta relevante que en la lluvia de semillas se encuentre una proporción importante de especies de los estratos arbóreo y arbustivo, misma que requiere ser monitoreada (Anexo 1).

Con relación a las plántulas de *Q. rugosa*, como única especie arbórea presente en ambas fuentes de propágulos, es importante resaltar aspectos particulares como el hecho de que las bellotas de esta especie son recalcitrantes, por lo que su permanencia en el banco de semillas puede ser efímera (Baskin y Baskin, 1998; Castro *et al.*, 2012). Warr *et al.* (1994) encontraron a las especies arbóreas y particularmente las del género *Quercus* prácticamente ausentes en el banco de semillas. Otros autores reportan la presencia de esta especie exclusivamente durante su época de fructificación (Ortíz-Arona *et al.*, 2008).

Los factores bióticos y abióticos mencionados provocan una escasa

relación entre la composición del banco de semillas y la de la vegetación establecida, misma que ha sido reportada en otros trabajos. Ramírez-Marcial *et al.* (1992), indican que esta baja similitud está relacionada con el estadio sucesional de la vegetación y por supuesto con el efecto de los disturbios antropogénicos, por lo que existe una mayor proporción de plántulas de especies herbáceas.

La mayoría de las investigaciones relacionan sólo una de estas fuentes de regeneración (lluvia de semillas, banco de semillas) con la vegetación establecida; sin embargo, considerar esta trilogía es muy importante para analizar la dinámica de un bosque, entender sus cambios en estructura y composición en el tiempo, y finalmente para comprender el proceso de regeneración natural y su capacidad de resiliencia.

### **Agradecimientos**

A los proyectos “Ecología de las malezas y especies introducidas en el bosque templado de la cuenca del río Magdalena” PE204413. “Importancia de las malezas en las comunidades secundarias del bosque templado de la cuenca del río Magdalena” PAPIIT IN216014. Al M. en C. Ramiro Cruz-Durán, por la identificación del material de herbario. Al Biól. Marco A. Romero-Romero por su apoyo con la edición de las figuras. A la Dra. Irene Sánchez-Gallén por sus comentarios y sugerencias.

### **Referencias**

- Almeida-Leñero L., *et al.*, 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta Ecológica*, 85, pp. 53-64.
- Álvarez K. E., 2000. *Geografía de la educación ambiental: algunas propuestas de trabajo en el Bosque de los Dinamos, Área de Conservación Ecológica de la Delegación Magdalena Contreras*. Tesis de licenciatura en Geografía. México. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Álvarez-Aquino C., Williams-Linera G. y Newton A.C., 2005. Disturbance Effects on the Seed Bank of Mexican Cloud Forest Fragments. *Biotropica*, 37, pp. 337:342.
- Álvarez-Buylla E. y Martínez-Ramos M., 1990. Seed bank versus seed rain in the regeneration of a tropical pioneer tree. *Oecologia*, 84, pp.



314-325.

- Ávila-Akerberg V., 2002. *La vegetación en la cuenca alta del río Magdalena: un enfoque florístico, fitosociológico y estructural*. Tesis de licenciatura en Biología, México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ávila-Akerberg V., 2004. *Autenticidad de los bosques en la Cuenca alta del río Magdalena. Diagnóstico hacia la restauración ecológica*. Tesis de Maestría. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Baskin C.C. y Baskin J.M., 1998. *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. San Diego: Academic Press.
- Bertiller M. y Aloia D., 1997. Seed bank strategies in Patagonian semi-arid grasslands in relation to their management and conservation. *Biodiversity and Conservation*, 6, pp. 639-650.
- Bonvissuto G.L. y Busso C.A., 2007. Seed rain in and between vegetation patches in arid Patagonia, Argentina. *International Journal of Experimental Botany*, 76, pp. 47-59.
- Castro, C.L., *et al.*, 2012. Effect of hydropriming and acclimation treatments on *Quercus rugosa* acorns and seedlings. *European Journal of Forest Restoration*, 131, pp. 747-756.
- Challenger, A., 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*. México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad; Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México y Agrupación Sierra Madre.
- Challenger, A., 2007. Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación. En: O. Sánchez *et al.*, ed. *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología.
- Clark, J., *et al.*, 1999. Seed dispersal near and far: Patterns across temperate and tropical forests. *Ecology*, 80, pp. 1475-1494.
- Colauti, R. y MacIssac, H., 2004. A neutral terminology to define “invasive” species. *Diversity and Distributions*, 10, pp.135-141.
- Decocq, G., *et al.*, 2004. Plant diversity in a managed temperate deciduous

- forest:understorey response to two silvicultural systems. *Journal of Applied Ecology*, 41, pp. 1065-1079.
- Del Castillo, R.F. y Pérez-Ríos, M.A., 2008. Changes in seed rain during secondary succession in a tropical montane cloud forest region in Oaxaca. *Journal of Tropical Ecology*, 24, pp. 433-444.
- Doménech R., *et al.*, 2005. Historical land-use legacy and *Cortaderia selloana* invasion in the Mediterranean region. *Global Change Biology*, 11, pp. 1054-1064.
- Dovčiak, M., *et al.*, 2003. Seed rain, safe sites, competing vegetation, and soil resources spatially structure white pine regeneration and recruitment. *Canadian Journal of Forest Restoration*, 33, pp. 1892-1904.
- Egley, G.H. y Chandler, J.M., 1983. Longevity of Weed Seeds after 5.5 Years in the Stoneville 50 - Year Buried - Seed Study. *Weed Science*, 31, pp. 264-270
- Fenner, M., 1985. *Seed ecology*. Londres: Chapman and Hall.
- Granström, A., 1982. Seed banks in five boreal forest stands originating between 1810 and 1963. *Canadian Journal of Botany*, 60, pp. 1815-1821.
- Grombone-Guarantini, M.T. y Ribeiro-Rodrigues, R., 2002. Seed bank and seed rain in a seasonal semi-deciduous forest in South-eastern Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 18, pp. 759-774.
- Harper J.L., 1977. *Population Biology of Plants*. Londres: Academic Press.
- Hill M.O. y Stevens P.A., 1981. The Density of Viable Seed in Soils of Forest Plantations in Upland Britain. *Journal of Ecology*, 69, pp. 693-709.
- Hofgaard, A., 1993. Seed Rain Quantity and Quality, 1984-1992, in a High Altitude Old-Growth Spruce Forest, Northern Sweden. *New Phytologist*, 125, pp. 635-640.
- Honnay, O., *et al.*, 2002. Ecological perspectives for the restoration of plant communities in European temperate forests. *Biodiversity and Conservation*, 11, pp. 213-242.
- Hopfensperger, K., 2007. A review of similarity between seed bank and standing vegetation across ecosystems. *Oikos*, 116, pp. 1438-1448.

- Howe, H.F. y Smallwood, J., 1982. Ecology of Seed Dispersal. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 13, pp. 201-228.
- Kellman, M.C., 1970. The viable seed content of some forest soil in coastal British Columbia. *Canadian Journal of Botany*, 48, pp. 1383-1385.
- Kjellsson, G., 1992. Seed banks in Danish deciduous forest: species composition, seed influx and distribution pattern in soil. *Ecography*, 15, pp. 86-100.
- Korb, J., *et al.*, 2005. Soil seed banks in *Pinus ponderosa* forests in Arizona: Clues to site history and restoration potential. *Applied Vegetation Science*, 8, pp. 103-112.
- Kostel-Hughes, F., Young, T.P. y McDonnell, M.J., 1998. The soil seed bank and its relationship to the aboveground vegetation in deciduous forests in New York City. *Urban Ecosystems*, 2, pp. 43-59.
- Laborde, J., Guevara, S. y Sánchez-Ríos, G., 2008. Tree and shrub seed dispersal in pastures: The importance of rainforest trees outside forest fragments. *Ecoscience*, 15, pp. 6-16.
- Leckie, S., *et al.*, 2000. The seed bank in an old-growth, temperate deciduous forest. *Canadian Journal of Botany*, 78, pp. 181-192.
- Magurran, A.E., 1998. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press.
- Martínez-Orea, Y., 2011. *Lluvia y banco de semillas en el bosque templado de la cuenca del río Magdalena*. Tesis de Maestría. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Martínez-Orea, Y., *et al.*, 2012. Seed rain after a fire in a xerophytic shrubland. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, pp. 447-457.
- Martínez-Orea, Y., *et al.*, 2013. Lluvia y banco de semillas como facilitadores de la regeneración natural en un bosque templado de la Ciudad de México. *Interciencia*, 38, pp. 400-409.
- Martínez-Ramos, M. y Soto-Castro, A., 1993. Seed rain and advanced regeneration in a tropical forest. *Plant Ecology*, 108, pp. 299-318.
- Moffatt, S.F. y McLachlan, S.M., 2003. Effects of land use disturbance on seed banks of riparian forests in southern Manitoba. *Ecoscience*, 10, pp. 361-369.
- Moles, A y Drake, D., 1999. Potential contributions of the seed rain and

- seed bank to regeneration of native forest under plantation pine in New Zealand. *New Zealand Journal of Botany*, 37, pp. 83-93.
- Moscoso, M.L. y Diez, G.M., 2005. Soil seed bank in an oak forest from the Colombian central cordillera. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58, pp. 2931-2944.
- Nathan, R. y Muller-Landau, H., 2000. Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *Tree*, 15, pp. 278-285.
- Nieto de Pascual, P.C., 1995. Estudio sinecológico del bosque de oyamel de la cañada de Contreras, Distrito Federal. *Revista Ciencia Forestal en México* 20, pp. 3-34.
- Ortiz-Arrona, C., *et al.*, 2008. Banco de Semillas en el Suelo de un Bosque Mesófilo de Montaña en la Sierra de Manantlán, México. *ScientiaCUCBA*, 10, pp. 81-94.
- Paluch, J.G., 2011. Ground seed density patterns under conditions of strongly overlapping seed shadows in *Abies alba* Mill. stands. *European Journal of Forest Restoration*, 130, pp. 1009-1022.
- Rabinowitz, D. y Rapp, J., 1980. Seed rain in North American tall grass prairie. *Journal of Applied Ecology*, 17, pp. 793-802.
- Ramírez-Marcial, N., González, E.M. y Quintana, A.P. 1992., Banco y lluvia de semillas en comunidades sucesionales de bosques de Pino-Encino de los altos de Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana*, 20, pp. 59-75.
- Rzedowski, J., 1978. *Vegetación de México*. México: Limusa.
- Rzedowski, J. y Rzedowski, G., 2005. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. Michoacán, México. CONABIO, Instituto de Ecología.
- Santibáñez-Andrade, G., 2009. *Composición y estructura de bosque de Abies religiosa en función de la heterogeneidad ambiental y determinación de su grado de conservación en la cuenca del río Magdalena, México.*, D.F. Tesis de Maestría en Ciencias. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Saulei, S.M. y Swaine, M.D., 1988. Rain forest dynamics during sucesión at Mogol, Papua New Guinea. *Journal of Ecology*, 76, pp. 1133-1152.
- Schiffman, P.M. y Johnson, C.W., 1992. Sparse Buried Seed Bank in a Southern Appalachian Oak Forest: Implications for Succession.

- American Midland Naturalist*, 127, pp. 258-267.
- Šerá, B., 2005. Diaspores-Potential or real power of wild plants? Life cycle. *Ekológia (Bratislava)*, 24, pp. 7-27.
- StatSoft, 2000. *Statistica for Windows. Statistica II*. Tulsa: Statsoft, Inc.
- Thompson, K., 1987. Seeds and seed banks. *New Phytologist*, 106, pp. 23-39.
- Thompson, K., 1992. The functional ecology of seed banks. En: M. Fenner, ed. *Seeds: the Ecology of Regeneration in Plant Communities*. Inglaterra: CAB International.
- Thompson, K., 2000. The functional Ecology of Soil Seed Banks. En: M. Fenner, ed. *Seeds The Ecology of regeneration in Plant Communities*. New York: Segunda edición. CAB International. p. 397.
- Van Der Pijl L., 1982. *Principles of dispersal in higher plants*. Springer, Berlin.
- Warr, S.J., Thompson, K. y Kent, M., 1993. Seed bank as a neglected area of biogeographic research: a review of literature and sampling techniques. *Progress in Physical Geography* 17, pp. 329-347.
- Warr, S.J., Kent, M. y Thompson, K., 1994. Seed bank composition and variability in five woodlands in south west England. *Journal of Biogeography*, 21, pp. 151-168.
- Wolters, M. y Bakker, J.P., 2002. Soil seed bank and driftline composition along a successional gradient on a temperate salt marsh. *Applied Vegetation Science*, 5, pp. 55-62.
- Young, K.R., Ewel, J.J. y Brown, B.J. 1987. Seed dynamics during forest succession in Costa Rica. *Vegetatio*, 71, pp. 157-173.
- Zar, J.H., 1974. *Biostatistical Analysis*. New Jersey: Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- Zavala Hurtado, A., *et al.*, 2003. Mala, mala, no tan mala maleza. Patrones de distribución espacial de las malezas en el campus Iztapalapa de la UAM. *ContactoS*, 49, pp. 5-14.

---

<sup>1</sup> Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

\*[arguerosc@yahoo.com.mx](mailto:arguerosc@yahoo.com.mx)

## ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS HONGOS MICORRIZÓGENOS EN EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE PLÁNTULAS DE ÁRBOLES EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

*Francisco Javier Álvarez-Sánchez<sup>1\*</sup>, Juan Carlos Peña-Becerril<sup>1</sup>, Dulce Y. Flores-Rentería<sup>1</sup>, Diego Olivera-Morales<sup>1</sup>, Irene Sandoval-González<sup>1</sup>, Gema Galindo-Flores<sup>2</sup> y Guadalupe Santiago-Martínez<sup>2</sup>*

### Introducción

Los bosques templados se encuentran en todos los continentes, tanto en zonas templadas como templado-frías. Se presentan entre los 25° y 50° de latitud en ambos hemisferios, donde la temperatura media anual es de 23°C y el promedio anual de precipitación es de 1 000 mm (Ovington, 1983; Röhrig, 1991a; Röhrig, 1991b). El bosque templado es variable en su composición, en algunos lugares predominan los árboles deciduos, mientras que en otros son más comunes las coníferas, aunque también hay bosques mixtos de coníferas (Röhrig, 1991a; Röhrig, 1991b). Las familias más importantes que conforman el estrato arbóreo en este tipo de bosques son Pinaceae, Fagaceae, Juglandaceae, Aceraceae, Salicaceae y Betulaceae (Röhrig, 1991c).

Debido a su diversidad biológica, extensión, grado de endemismos y potencial productivo, se reconoce a los bosques templados en México como un sistema de importancia en términos económicos, ambientales y sociales (Challenger, 2003). Algunos estudios señalan que los bosques templados fijan una cantidad importante de carbono (Vogt, 1991; Ordoñez y Masera, 2001; Pregitzer y Euskirchen, 2004), son importantes como medio de contención y regulación de los caudales de agua, conservan la calidad de los suelos y los protegen ante la erosión (Dixon *et al.*, 1994; Almeida-Leñero *et al.*, 2007, Nívar-Cháidez y González-Elizondo, 2009).

Desafortunadamente, los bosques templados no están exentos de deterioro ambiental, sobre todo como resultado de una acelerada pérdida de la cobertura vegetal. Para los bosques templados en el mundo, la situación es particularmente dramática, en el año 2002 restaban poco más de 20 millones de ha de las más de 40 millones de ha originales (Sarukhán *et al.*, 2009), con una tasa de deforestación durante el periodo de 1993-

2002 de 252 mil hectáreas anuales (SEMARNAT, 2009). Según informes de la FAO (2007), México se encuentra entre los 10 países, a nivel mundial, con mayor pérdida de bosques. De 1993 a 2000, se perdieron 54 306 km<sup>2</sup> y entre los años 2000 y 2005, se perdieron 1 500 000 ha de bosques, lo que se traduce en una tasa de deforestación anual de 1.1%, es decir, 319 mil ha anuales (Velázquez *et al.*, 2002).

El deterioro del bosque templado tiene múltiples consecuencias, tal como cambios climáticos y microclimáticos, reducción de la recarga de acuíferos, erosión de suelos, azolve de presas y lagos, así como pérdida de la biodiversidad, entre otros problemas. Ante tal escenario, se ha hecho evidente la necesidad de reforestar estos ecosistemas. Las estimaciones de reforestación exitosa en México indican que, para el año 2011, se reforestaron alrededor de 227 mil ha (SEMARNAT - SNIARN, 2012). Actualmente, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) está llevando a cabo importantes esfuerzos en actividades de reforestación, pero es necesario que los programas pasen de la fase de plantación a esquemas que aseguren una mayor supervivencia de las plántulas para que puedan llegar a la edad reproductiva. Uno de los más utilizados es la investigación y elaboración de estrategias que tienen como meta la restauración de condiciones similares a las que el ecosistema mostraba antes de la degradación, usando como herramienta la inoculación con hongos micorrizógenos (Quoreshi, 2008).

La restauración es una rama de la ecología aplicada que busca revertir la pérdida de la biodiversidad y reestablecer el funcionamiento de los ecosistemas, y con ello los servicios ecosistémicos que proporcionan (Daily, 1997, Gregory y Ingram, 2000). La dirección general y los límites de esta recuperación se pueden establecer a través de una combinación de conocimientos sobre la estructura, la composición y el funcionamiento preexistentes del ecosistema dañado o de un ecosistema contemporáneo de referencia (SER, 2002).

Las intervenciones que se emplean en la restauración varían dependiendo de la extensión y la duración de las perturbaciones, de las condiciones culturales que han transformado el paisaje, así como de las oportunidades y limitaciones actuales. En las situaciones menos complejas, la restauración implica eliminar o modificar una alteración específica para

permitir que los procesos ecológicos se recuperen por sí solos. En circunstancias más complicadas, la restauración también requiere la reintroducción intencional de las especies autóctonas presentes antes de la perturbación (SER, 2002).

Otra herramienta biológica que puede ser empleada son los microorganismos del suelo, que realizan actividades importantes como la descomposición de compuestos orgánicos (Heredia, 2003), la reducción de nitrógeno a amonio (Gilbert, 2002) y la degradación de contaminantes (Anderson *et al.*, 1993), por mencionar algunas. Entre los microorganismos del suelo se encuentran los hongos micorrizógenos, los cuales ejercen una gran diversidad de funciones indispensables para el establecimiento y crecimiento de las plantas y, por lo tanto, para el desarrollo de los ecosistemas. Se ha sugerido que mediante la inoculación con hongos micorrizógenos, se puede obtener una mayor supervivencia y crecimiento en plantas que han sido transplantadas para la recuperación de zonas perturbadas (Azcón y Barea, 1997; Cuenca *et al.*, 1998; Requena *et al.*, 2001; Cuenca *et al.*, 2002).

El término micorriza implica la asociación mutualista (ambos se benefician) entre un hongo y las raíces de una planta; los cuales favorecen la absorción de nutrientes en la mayoría de las plantas terrestres, lo que se refleja en un incremento de la producción de biomasa y en las tasas de supervivencia y reproducción (Fisher y Jayachandran, 2002). A cambio, el hongo obtiene de la planta compuestos carbonatados resultados de la fotosíntesis (Harley y Smith, 1984). Otra ventaja que recibe la planta de la asociación con hongos micorrizógenos es la protección. Esta defensa implica distintos aspectos como: a) compensar los daños causados por patógenos; b) competencia entre el hongo micorrizógeno y el patógeno por los fotosintatos de la planta hospedera y los espacios colonizables en el tejido vegetal; c) cambios en la anatomía y arquitectura radical; d) modificaciones en la población microbiológica de la rizósfera (Linderman, 2000) y e) activación de mecanismos de defensa en la planta hospedera. También se ha documentado que la asociación micorrízica es fundamental para la productividad y diversidad de los ecosistemas (van der Heijden *et al.*, 1998a; van der Heijden *et al.*, 1998b). Debido a esta gran variedad de funciones, es válido considerar que la pérdida o alteración de esta



interacción puede tener serias consecuencias en términos de degradación, salud y productividad de cualquier comunidad vegetal.

Las micorrizas se dividen de acuerdo al sitio que ocupa el micelio fúngico asociado con la raíz de las plantas. Así, se tienen a las endomicorrizas o micorrizas arbusculares y las ectomicorrizas (Smith y Read, 1997). Las primeras se encuentran principalmente en ecosistemas tropicales a secos (zonas áridas y semiáridas), mientras que las segundas son las más importantes en los ecosistemas templados. Originalmente, el uso de las micorrizas se restringía sólo a la agricultura o a la explotación forestal, pero se ha sugerido que existe una relación entre el tiempo de recuperación de un ecosistema perturbado y la abundancia de propágulos infectivos de hongos micorrizógenos (Bentivenga y Hetrick, 1991; Noyd *et al.*, 1995). Es por eso que en la actualidad se reconoce su importancia en programas de restauración y, con ello, su uso para la recuperación de ecosistemas deteriorados.

En México se han realizado algunos trabajos de restauración ecológica utilizando los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA). Quiroz (2006) confirma que la presencia de HMA aumenta el crecimiento de especies pioneras dentro de una selva húmeda; Álvarez-Sánchez *et al.* (2007) aseguran que la inoculación con HMA, previa al transplante a sitios perturbados de plántulas de *Piper auritum* Kunth, aumenta el crecimiento de éstas y, además, sostienen que la supervivencia de *P. auritum* y *Rollinia jimenezii* Saff. aumenta en presencia de HMA; ambos trabajos fueron realizados en la selva de Los Tuxtlas, Veracruz. En zonas perturbadas de matorral xerófilo, Monroy-Ata *et al.* (2007), obtuvieron mayor supervivencia en plántulas de *Prosopis laevigata* Humb. et Bonpl. ex Willd y *Acacia farnesiana* (L.) Willd. cuando fueron inoculadas con HMA. Es preciso recalcar que estos trabajos de restauración utilizando HMA se han realizado en zonas tropicales y semiáridas; sin embargo, en zonas templadas y, concretamente, en bosques de pino y oyamel, los trabajos están enfocados principalmente a hongos ectomicorrizógenos (HEM) (Estrada-Torres y Santiago-Martínez, 2003; Santiago-Martínez, 2008). Sandoval-González (2010) trabajó con *Abies religiosa* Kunth Schltdl. et Cham. y *Pinus harwegii* Lindl, y no encontró diferencias significativas entre tratamientos, aunque sí una tendencia marginal a una

mayor supervivencia a las plantas inoculadas con HEM; con respecto al crecimiento, observó mayor asignación de recursos a la parte aérea, y diferencias en la tasa relativa de crecimiento para *P. hartwegii*. Por otra parte, en un estudio ecofisiológico Flores (2010) demostró cambios significativos en el potencial osmótico de las plantas inoculadas con HEM, el cual fue menos negativo (Flores et al., datos no publicados).

Con base en la necesidad de impulsar la recuperación de los bosques de la cuenca del río Magdalena, Ciudad de México y, de acuerdo con el objetivo general del Macroproyecto “Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano en la cuenca del río Magdalena” (Informe de actividades 2005-2008), este trabajo analiza, de manera general, el efecto de los hongos micorrizógenos en la restauración ecológica en los bosques de mayor extensión de dicha cuenca (bosques de *Quercus* sp., *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii*). Se analiza, en particular, el efecto de los HMA sobre el crecimiento y la supervivencia de plántulas de *Q. rugosa* Née y de los HEM en plántulas de *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa*, para ser usados en la restauración de los bosques en la cuenca del río Magdalena.

## **Método**

El trabajo fue dividido en las etapas siguientes: selección de especies vegetales, colecta e identificación de hongos micorrizógenos, obtención del inóculo de HMA y HEM, germinación de plántulas, inoculación con hongos micorrizógenos, trasplante a campo, monitoreo de supervivencia y crecimiento, y análisis de crecimiento (Fig. 1). El detalle se muestra a continuación.

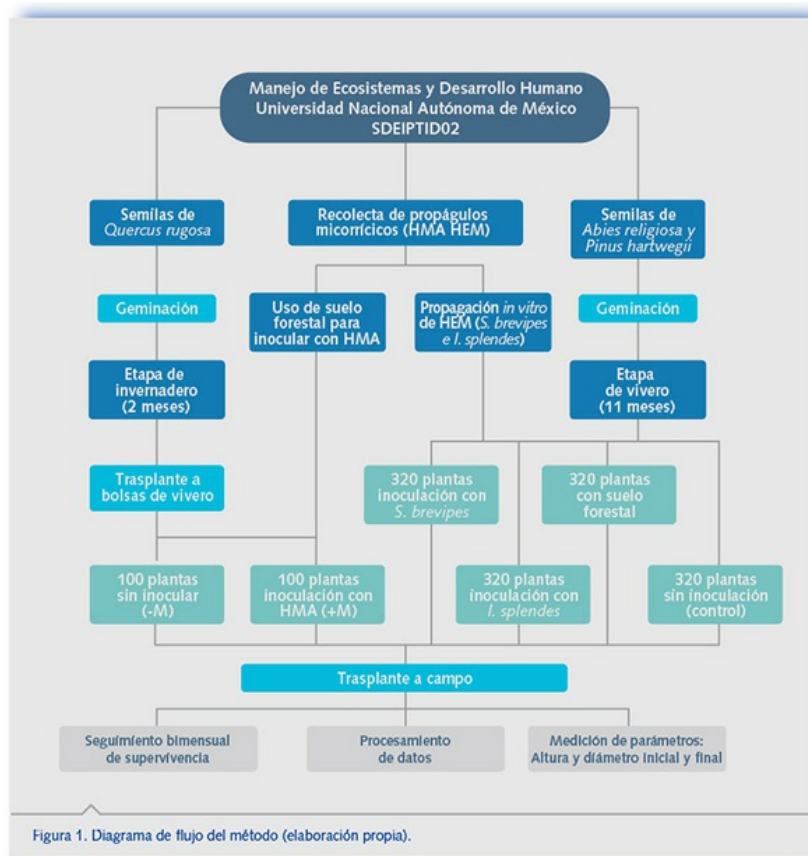


Figura 1

### Selección de especies vegetales

Se seleccionó a la especie *Q. rugosa*, que es dominante en la cobertura arbórea del bosque de *Quercus* sp. (Nava, 2003); las especies de este género pueden presentar asociación con los HMA, especialmente en las etapas juveniles (Rothwell *et al.*, 1983; Dickie *et al.*, 2001; Egerton-Warburton y Allen, 2001; Dickie *et al.*, 2002). Por otro lado las especies *A. religiosa* y *P. hartwegii*, se seleccionaron debido a que éstas son especies arbóreas dominantes de las comunidades vegetales de dichos bosques (Ávila-Akerberg, 2002; Santibañez-Andrade, 2009) y presentan asociaciones con hongos formadores de la ectomicorriza (Pérez-Moreno, 2008). Las semillas de *Q. rugosa* y las plántulas de *A. religiosa* y *P. hartwegii* fueron proporcionadas por el vivero de San Luis Tlaxialtemalco, ubicado en la Delegación Xochimilco, Ciudad de México.

### Colecta e identificación de hongos micorrizógenos

El inóculo de HMA se obtuvo de muestreos en el bosque de *Quercus* sp. de la cuenca del río Magdalena en junio del año 2006. A partir de 20

muestras compuestas obtenidas sistemáticamente a lo largo de dos transectos de 100 m, se hizo la separación e identificación de morfotipos de esporas de HMA siguiendo la técnica de Brundrett *et al.* (1996) y la inoculación de plántulas de *Q. rugosa* (Olivera-Morales *et al.*, 2011), se obtuvo el inóculo de HEM, durante el mes de agosto y septiembre del año 2006, se realizaron colectas de carpóforos (estructura macroscópica del hongo que contiene las esporas) de *Suillus brevipes* (Peck) Kuntze e *Inocybe splendens* R. Heim, en el bosque de *A. religiosa* y *P. hartwegii*. Estas especies de hongos ectomicorrizógenos se seleccionaron por su asociación con plantas en sus primeras etapas de desarrollo (Bowen, 1994). Para la propagación del micelio de estos hongos se aisló el tejido de los carpóforos, según la técnica de Molina y Palmer (1982) y, posteriormente, se propagaron en envases de vidrio en sustrato vermiculita, turba, BAF y dextrosa; las cepas se mantuvieron por tres meses antes de la inoculación en el separio del Laboratorio de Micorrizas del Centro de Investigaciones de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Tlaxcala (*Suillus brevipes* tiene la clave TLAX62 e *Inocybe splendens* la clave TLAX64). Finalmente, a este sustrato esterilizado se le agregó micelio fúngico para la inoculación de *A. religiosa* y *P. hartwegii* (Sandoval-González, 2010).

### ***Germinación e inoculación con hongos micorrizógenos***

Para la germinación de *Q. rugosa*, las semillas se escarificaron mecánicamente para facilitar la emergencia de la radícula y se mantuvieron en el invernadero de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Las plántulas, una vez germinadas y con una altura de 8 cm, fueron colocadas en bolsas de vivero de 2kg con un sustrato suelo del sitio-arena en proporción 3:1 100 plántulas se colocaron en sustrato previamente esterilizado y a otras 100 plántulas se les agregó suelo no esterilizado de la zona de estudio, el cual fungió como inóculo de HMA. Así se generaron dos tratamientos, con HMA y sin HMA (+M y -M). Estas plantas permanecieron en invernadero durante dos meses (de julio a principios de septiembre de 2006).

Las semillas de *A. religiosa* y *P. hartwegii* fueron germinadas en contenedores de plástico y las plántulas se mantuvieron en el vivero de San

Luis Tlaxialtemalco por 11 meses. Para la inoculación se establecieron cuatro tratamientos para ambas especies: a) inoculación con *I. splendens*, b) inoculación con *S. brevipes*, c) sin inóculo (control) y d) suelo forestal, éste último para determinar el potencial de inóculo del suelo del bosque de *Abies* y *Pinus*. Cada tratamiento constó de 80 plántulas de cada especie, dando un total de 320 plantas por especie.

### ***Trasplante a campo***

En cada comunidad vegetal se establecieron dos parcelas experimentales de 50 x 50 m. En las parcelas del bosque de *Quercus*, en septiembre del año 2006, se trasplantaron 100 plántulas de *Q. rugosa* en cada parcela (50 +M y 50 -M). Cada planta se trasplantó a una distancia de dos metros una de la otra y de manera sistemática alternándose según los tratamientos (+M y -M). Las plantas de *A. religiosa* y *P. hartwegii* se trasplantaron a sus bosques respectivos, en septiembre de 2007; la disposición de las plántulas fue al azar, a una distancia de 1.5 m entre una y otra, y a tres metros de distancia de cada una de las líneas establecidas usando el método forestal “tres de bolillo” (CONAFOR-SEMARNAT, 2004).

### ***Monitoreo de supervivencia y crecimiento***

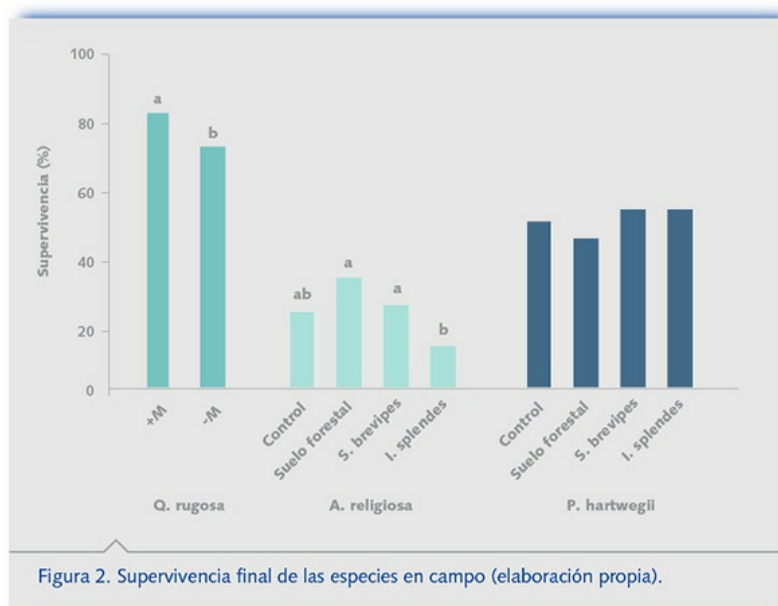
En el caso de las plántulas de *Q. rugosa*, cada mes se evaluó la supervivencia, la altura y el diámetro a la base del tallo inicial y final, para obtener las tasas relativas de crecimiento (TRC). En este trabajo se reportan los resultados de agosto de 2006 a agosto de 2007. La supervivencia, altura y diámetro de las plantas en la base del tallo de *P. hartwegii* y *A. religiosa*, se registró bimestralmente (a partir de su trasplante en septiembre de 2007), para obtener las TRC durante dos años y medio.

### ***Análisis de crecimiento***

Para evaluar la supervivencia se realizó un análisis de Peto y Peto (Pyke y Thomson, 1987), para analizar diferencias significativas entre tratamientos. Para determinar la existencia de diferencias significativas del diámetro y la altura entre tratamientos, se realizó un ANOVA de una vía para cada una de las especies usando el programa STATISTICA 8.0.

## Resultados

Después de un año en que las plántulas de *Q. rugosa* permanecieron en campo, se encontró que el tratamiento con HMA presentó el mayor porcentaje de supervivencia con respecto a las plantas que no fueron inoculadas ( $c^2 > 3.84$ ,  $df= 1$ ,  $P= 0.05$ ) (Fig. 2). En el caso de *A. religiosa*, la mayor supervivencia se presentó en los tratamientos con *S. brevipes* y con suelo forestal ( $c^2 > 3.84$ ,  $df= 1$ ,  $P= 0.05$ ) (Fig. 2), mientras que en *P. hartwegii* no se observaron diferencias significativas entre tratamientos.



**Figura 2**

El tratamiento con HMA en *Q. rugosa* presentó los mayores valores en la TRC de la altura, diferenciándose significativamente del tratamiento sin inóculo (-M) ( $P < 0.05$ ); sin embargo, para la TRC del diámetro del tallo, ambos tratamientos fueron semejantes (Tabla 1). *Abies religiosa* no presentó diferencias significativas para ninguna de las tasas relativas de crecimiento entre los tratamientos; no obstante, el tratamiento con *I. splendens* tuvo los menores valores en comparación con los demás tratamientos para la TRC en altura y en diámetro (Tabla 1). En el caso de *P. hartwegii*, hubo diferencias significativas entre tratamientos para la TRC altura ( $P < 0.05$ ), más no para el diámetro (Tabla 1).

**Tabla 1**

Tabla 1. Tasa relativa de crecimiento de la altura y del diámetro de las especies al final del experimento en la cuenca del río Magdalena, cmx. Letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ). +M: con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA); -M: sin inóculo (elaboración propia).

Especie	Tratamiento	TRC Altura Total (cm / día)	TRC Diámetro (mm / día)
<i>Q. rugosa</i>	+M	0.0123 ± 0.0122 a	0.0005 ± 0.0022
	-M	0.0065 ± 0.0170 b	0.0005 ± 0.0019
<i>A. religiosa</i>	Control	0.0183 ± 0.0183	0.0028 ± 0.0014
	Suelo forestal	0.0157 ± 0.0157	0.0021 ± 0.0013
	<i>S. brevipes</i>	0.0163 ± 0.0163	0.0026 ± 0.0014
	<i>I. splendens</i>	0.0086 ± 0.0086	0.0019 ± 0.0014
<i>P. hartwegii</i>	Control	0.0021 ± 0.0064 a	0.0078 ± 0.0052
	Suelo forestal	0.0013 ± 0.0058 a	0.0075 ± 0.0071
	<i>S. brevipes</i>	-0.0026 ± 0.0065 b	0.0077 ± 0.0148
	<i>I. splendens</i>	0.0022 ± 0.0066 a	0.0073 ± 0.0057

## Discusión

Algunos estudios han encontrado que las primeras etapas del desarrollo en *Quercus* presentan asociación con HMA (Rothwell *et al.*, 1983; Dickie *et al.*, 2001; Egerton-Warburton y Allen, 2001; Dickie *et al.*, 2002), por lo que se sugiere que ello puede ayudar a las plántulas a aumentar su supervivencia y crecimiento en campo; sin embargo, también se ha demostrado que existen pocos o nulos efectos de la colonización con HMA en plántulas pertenecientes a este género (Dickie *et al.*, 2001) e incluso una reducida colonización (Egerton-Warburton y Allen, 2001). No obstante, esto puede deberse a que las plantas de *Quercus* son de crecimiento lento, por lo que el efecto de los HMA pueda darse a largo plazo o bien, en otras variables de crecimiento, como fue en nuestro estudio la TRC en altura y en la supervivencia; este último consistente con lo reportado por Olivera-Morales *et al.* (2011). Sin embargo, parece haber un desplazamiento por HEM de estados más tardíos en la regeneración que desplazan a los HMA en esta especie dependiendo de las condiciones de disponibilidad de fósforo y establecen una relación con HEM (Merryweather y Fitter, 1998).

En el caso de *P. hartwegii* y *A. religiosa*, en forma general, se observó que presentaron una tendencia a tener afinidad con una especie de hongo ectomicorrizógeno, considerando el tiempo que permanecieron en campo. Se considera a la especificidad micorrícica (que significa una mejor afinidad-compatibilidad entre determinadas especies de hongo y planta) como importante para el crecimiento vegetal, especialmente en las

primeras etapas de desarrollo de las plantas (Molina *et al.*, 1992). Empero, el efecto del hongo sobre la planta depende en gran medida de las condiciones ambientales (Parladé *et al.*, 1999). Cabe señalar que *Suillus* e *Inocybe*, son considerados hongos simbiotes de un amplio número de especies vegetales, ya que se pueden encontrar en las primeras etapas de formación de un bosque y también se puede observar su presencia en bosques que han sufrido algún disturbio (Jumpponen *et al.*, 1999).

En *P. hartwegii* no se observaron diferencias en la supervivencia entre los diferentes tratamientos, lo que concuerda con otros estudios realizados con plántulas de incluso tres y cuatro años, en los cuales no se reportó algún efecto para esta variable; sin embargo, dichos estudios demuestran beneficios con algunas variables de crecimiento, como la biomasa o la altura (Parladé *et al.*, 1999; Tammi *et al.*, 2001; Estaún, 2004; Rincón *et al.*, 2006; Rincón *et al.*, 2007) o como en este caso, en la TRC de la altura para esta especie. *A. religiosa* presentó una supervivencia similar en los tratamientos inoculados con *S. brevipes* con el tratamiento con suelo, lo cual puede explicarse porque los HEM provenientes del suelo forestal y que colonizaron las raíces, fueron igualmente efectivos para esta variable (Flores, 2010).

Para *P. hartwegii* se observó una tendencia a asignar mayor crecimiento en altura, si es inoculada con *S. brevipes*, más no en la TRC del diámetro, ya que esta especie de árbol presenta bajas tasas de crecimiento, incluso bajo condiciones ambientales favorables (Villar *et al.*, 2004). *A. religiosa* no presentó diferencias significativas en ninguna de las variables, pero se observó cierta tendencia a tener menores valores en las TRC en la inoculación con *I. splendens*, lo cual podría explicarse porque esta asociación implica un costo para la planta, por lo menos en las primeras etapas de desarrollo para esta especie (Newton y Haigh, 1998).

Los beneficios que los hongos confieren a las plantas son diversos; entre ellos se encuentran: a) el incremento en la absorción de nutrientes, incluyendo N y P, a través del establecimiento de redes miceliales que incrementan el área de absorción de la raíz; b) la protección contra patógenos de la raíz, por ejemplo, de los miembros causantes del “marchitamiento fúngico”, tales como *Pythium*, *Phytophthora* y *Fusarium*; c) la mejoría en la estructura del suelo, por la formación de macro y



microagregados, mediante el establecimiento de conspicuas redes miceliales; d) la influencia en la estructura de las comunidades vegetales, a través de la conexión entre diferentes especies por redes miceliales comunes (Pérez-Moreno y Read, 2004); e) el incremento en el crecimiento y vigor a las plantas (Castellano, 1994; Ruiz-Diez *et al.*, 2006); f) el incremento en la adecuación de la planta (crecimiento, supervivencia y/o reproducción; Janos, 1992) y, g) un mayor crecimiento y peso seco en las plantas que son inoculadas (Torres y Honrubia, 1994).

Por todo lo anterior, es importante que se integren como parte esencial de una estrategia integral de restauración ecológica de los bosques templados. Hay que considerar, además, el monitoreo a largo plazo, ya que la información generada será muy importante para ajustar los programas de restauración y dirigir los sistemas deteriorados hacia las metas deseadas (Linding-Cisneros, 2007).

### **Agradecimientos**

Al Macroproyecto “Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano” UNAM (SEDEI-PTID-02) en la cuenca del río Magdalena Contreras. A Lizbeth Guzmán Moreno, Martha Adriana Núñez Cruz y Yazmín Anain Mendoza Segovia por su apoyo en el trabajo de campo y a la Dra. María Guadalupe Barajas Guzmán por sus sugerencias para enriquecer el trabajo.

### **Referencias**

- Almeida-Leñero, L., *et al.*, 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta ecológica, Instituto Nacional de Ecología*, Número especial 84-85, pp. 53-64.
- Álvarez-Sánchez, J., *et al.*, 2007. Restauración de ambientes deteriorados derivados de la selva tropical húmeda: el uso de los hongos micorrizógenos arbusculares. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 80(suplemento), pp. 59-68.
- Anderson T.A., Gothrie, E.A. y Walton, B.T., 1993. Bioremediation in the rhizosphere. *Environmental Science Technology*, 27(13), pp. 2630-2636.
- Ávila-Akerberg, V., 2002. *La vegetación de la cuenca del río Magdalena: un enfoque florístico, fitosociológico y estructural*. Tesis de Licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias, Universidad

Nacional Autónoma de México.

- Azcón, R. y Barea, M., 1997. Mycorrhizal dependency of a representative plant species in Mediterranean shrublands (*Lavandula spica* L.) as key factor to its use for revegetation strategies in desertification-threatened areas. *Applied Soil Ecology*, 7(1), pp. 83-92.
- Bentivenga S.P. y Hetrick, B.A.D., 1991. Relationship between mycorrhizal activity, burning, and plant productivity in tallgrass prairie. *Canadian Journal of Botany*, 69(12), pp. 2597-2602.
- Bowen, G., 1994. The ecology of the ectomycorrhiza formation and functioning. *Plant and Soil*, 159(1), pp. 61-67.
- Brundrett, M., *et al.*, 1996. *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*. Canberra. ACIAR Monograph.
- Castellano, M., 1994. Currents status of outplanting studies using ectomycorrhizae-inoculated forest trees. En: F.L., Pflieger, y Linderman, R.G., eds. *A reappraisal of mycorrhizae in plant health*. Minnesota: The American Phytopathological Society (APS) Press. pp. 261-281.
- CONAFOR-SEMARNAT., 2004. *Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras prácticas*. México. CONAFOR-SEMARNAT.
- Cuenca, G., De Andrade, Z. y Escalante, G., 1998. Arbuscular mycorrhizae in the rehabilitation of fragile degraded tropical lands. *Biology and Fertility of Soils*, 26(2), pp. 107-111.
- Cuenca, G., *et al.*, 2002. El uso de arbustos nativos micorrizados para la rehabilitación de áreas degradadas de la Gran Sabana, Estado Bolívar, Venezuela. *Interciencia*, 27(4), pp. 165-172.
- Challenger, A., 2003. Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación. En: O. Sánchez, *et al.*, eds. *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. México. INE. pp. 17-44.
- Daily, G.C., 1997. Introduction: What are ecosystem services? En: G.C. Daily, ed. *Nature's Services: Societal dependence on Natural Ecosystems*. Washington, D.C.: Island Press. pp. 1-10.
- Dickie, I.A., Koide, R.T. y Fayish, A.C., 2001. Vesicular–arbuscular mycorrhizal infection of *Quercus rubra* seedlings. *New Phytologist*,

- 151(1), pp. 257–264.
- Dickie I.A., Koide, R.T. y Steiner, K.C., 2002. Influences of established trees on mycorrhizas, nutrition, and growth of *Quercus rubra* seedlings. *Ecological Monographs*, 72(4), pp. 505–521.
- Dixon, R.K., *et al.*, 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263, pp. 185-190.
- Egerton-Warburton, L. y Allen, M.F., 2001. Endo-and ectomycorrhizas in *Quercus agrifolia* Nee. (Fagaceae): patterns of root colonization and effects on seedling growth. *Mycorrhiza*, 11(6), pp. 283-290.
- Estaún, M.M.V., 2004. *Revegetación y restauración ecológica de zonas degradadas por causas antropogénicas utilizando las simbiosis endo y ectomicorrícicas en flora mediterránea autóctona*. Madrid. IRTA Cabrils. pp. 1-27.
- Estrada-Torres, A. y Santiago-Martínez, Ma. G., 2003. *Avances en el estudio de la ectomicorriza en el estado de Tlaxcala, México*. Tlaxcala: Universidad Autónoma de Tlaxcala. Centro de Investigación en Ciencias Biológicas.
- FAO., 2007. *Situación de los bosques del mundo 2007*. Roma. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Fisher, J.B. y Jayachandran, K., 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance seedling growth in two endangered plant species from South Florida. *International Journal of Plant Sciences*, 163(4), pp. 559-566.
- Flores, R.D.Y., 2010. *El efecto de los hongos ectomicorrizógenos en las condiciones ecofisiológicas de plántulas de Pinus hartwegii Lindl. y Abies religiosa (Kunth Schltld. et Cham.): un enfoque para el análisis de la restauración de ambientes deteriorados en la cuenca del río Magdalena, D.F.* Tesis Maestría. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gilbert, G.S., 2002. Interacciones entre microorganismos y plantas. In: M. R., Guariguata and Catan, G.H. ed. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Costa Rica. Libro Universitario Regional (EULAC-GTZ). Cartago. pp. 435-463.
- Gregory, P.J. y Ingram, J.S.I., 2000. Global change and food and forestry production: future scientific challenges. *Agriculture, Ecosystems and*

- Environment*, 82(1-3), pp. 3-14.
- Harley, J.L. y Smith, S.E., 1984. *Mycorrhizal symbiosis*. Londres: Academic Press.
- Heredia, A.G., 2003. Los hongos microscópicos en la descomposición de las hojas. En: J. Álvarez-Sánchez y Naranjo-García, E. eds. *Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México*. Xalapa: Instituto de Ecología A. C., Instituto de Biología y Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Informe de actividades 2005-2008. *Macroproyecto manejo de ecosistemas y desarrollo humano*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://www.iztacala.unam.mx/mmrg/mega/>.
- Janos, D.P., 1992. Heterogeneity and scale in tropical vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. En: D.J. Read, *et al.*, eds. *Mycorrhizas in Ecosystems*. Oxon, Londres. CAB International. pp. 276-282.
- Jumpponen, A., Trappe, J.M. y Cázares, E., 1999. Ectomycorrhizal Fungi in Lyman Lake Basin: a comparison between primary and secondary successional sites. *Mycologia*, 9(4), pp. 575-582.
- Linderman, R.G., 2000. Effects of mycorrhizas on plant tolerance to diseases. En: Y. Kapulnik, y Douds, D.D. Jr., eds. *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Dordrecht, Países Bajos: Kluwer Academic Publishers. pp. 345-365.
- Linding-Cisneros, R., *et al.*, 2007. Restauración adaptable en la Meseta Purépecha. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 80, pp. 25-31.
- Merryweather, J., y Fitter, A., 1998. The arbuscular mycorrhizal fungi of *Hyacinthoides non-scripta* II. Seasonal and spatial patterns of fungal populations. *New Phytologist*, 138(1), 131-142.
- Molina, R. y Palmer, J.G., 1982. Isolation, maintenance, and pure culture manipulation of ectomycorrhizal fungi. En: N.C. Schenck, ed. *Methods and Principles of Mycorrhizal Research*. American Phytopathological Society St. Paul, MN. pp. 115-129.
- Molina, R., Massicotte, H. y Trappe, J.M., 1992. Specificity phenomena in mycorrhizal symbioses: community-ecological consequences and practical implications. En: M. F. Allen, ed. *Mycorrhizal Functioning: An Integrative Plant-fungal Process*. Nueva York: Chapman and Hall. pp. 357-423.

- Monroy-Ata, A., *et al.*, 2007. Establecimiento de plantas mediante el uso de micorrizas y de islas de recursos en un matorral xerófilo deteriorado. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 80 (suplemento), pp. 49-57.
- Nava, M., 2003. *Los bosques de la cuenca alta del río Magdalena, D.F., México. Un estudio de vegetación y fitodiversidad*. Tesis de licenciatura en Biología, México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Návar-Cháidez, J. de J. y González-Elizondo, S., 2009. Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. *Polibotánica*, 27, pp. 71-87.
- Newton, A.C. y Haigh, J.M., 1998. Diversity of ectomycorrhizal fungi in Britain: a test of the species–area relationship, and the role of host specificity. *New Phytologist*, 138(4), pp. 619-627.
- Noyd, R.K., Pflieger, F.L. y Russelle, M.P., 1995. Interactions between native prairie grasses and indigenous arbuscular mycorrhizal fungi: implications for reclamation of taconite iron ore tailing. *New Phytologist*, 129(4), pp. 651-660.
- Olivera-Morales, D., *et al.*, 2011. Establecimiento de plántulas de *Quercus rugosa* Née inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares en un bosque templado de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 89, pp. 115-121.
- Ordoñez, B.J.A. y Masera, O., 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7(1), pp. 3-12.
- Ovington, J.D., 1983 Introduction. En: J. D. Ovington, ed. *Ecosystem of the World 10. Temperate Broad-Leaved Evergreen Forest*. Amsterdam. Elsevier Science Publishing. pp. 1-4.
- Parladé, J., Alvarez, I. F. y Pera, J., 1999. Coinoculation of containerized Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) and maritime pine (*Pinus pinaster*) seedlings with the ectomycorrhizal fungi *Laccaria bicolor* and *Rhizopogon* spp. *Mycorrhiza*, 8(4), pp. 189-195.
- Pérez-Moreno, J., 2008. Ecofisiología y biotecnología de la ectomicorriza. En: J. Álvarez-Sánchez y Monroy, A., (Cuarta edición). *Técnicas de estudio de las asociaciones micorrízicas y sus aplicaciones en la restauración*. México: Facultad de Ciencias, Universidad Nacional

- Autónoma de México. pp. 161-186.
- Pérez-Moreno, J. y Read, D., 2004. Los hongos ectomicorrízicos, lazos vivientes que conectan y nutren a los árboles en la naturaleza. *Interciencia*, 19(5), pp. 239-247.
- Pregitzer, K.S. y Euskirchen, E.S., 2004. Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age. *Global Change Biology*, 10(12), pp. 2052-2077.
- Pyke, D.A. y Thomson, J.N., 1987. Statistical analysis of survival and renewal rate experiments. *Ecology*, 68 (1), pp. 240-245.
- Quiroz, A.M., 2006. *Restauración de sistemas tropicales deteriorados con especies pioneras derivados de una selva tropical húmeda: la influencia de las micorrizas arbusculares*. Tesis de Maestría. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Quoreshi, A.M., 2008. Chapter 13. The use of mycorrhizal biotechnology in restoration of disturbed ecosystem. En: Z.A. Siddiqui, Akhtar, M.S. y Futai, K. eds. *Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry*. Países Bajos: Springer. pp. 303-320.
- Requena, N., *et al.*, 2001. Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of desertified ecosystems. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(2), pp. 495-498.
- Rincón, A., *et al.*, 2006. Afforestation of degraded soils with *Pinus halepensis* Mill.: effects of inoculation with selected microorganisms and soil amendment on plant growth, rhizospheric microbial activity and ectomycorrhizal formation. *Applied Soil Ecology*, 34(1), pp. 42-51.
- Rincón, A., de Felipe, M.R. y Fernández-Pascual, M., 2007. Inoculation of *Pinus halepensis* Mill. with selected ectomycorrhizal fungi improves seedling establishment 2 years after planting in a degraded gypsum soil. *Mycorrhiza*, 18(1), pp. 23-32.
- Röhrig, E., 1991a. Introduction. En: E. Röhrig, y Ulrich, B., eds. *Ecosystems of the World 7, Temperate Deciduous Forest*. Amsterdam: Elsevier. pp. 1-6.
- Röhrig, E., 1991b. Floral composition and its evolutionary development. En: E. Röhrig y Ulrich, B., eds. *Ecosystems of the World 7, Temperate Deciduous Forest*. Amsterdam: Elsevier. pp. 11-24.
- Röhrig, E., 1991c. Temperate deciduous forest in Mexico and Central

- America. En: E. Röhrig y Ulrich, B., eds. *Ecosystems of the World 7, Temperate Deciduous Forest*. Amsterdam: Elsevier. pp. 371-376.
- Rothwell, F.M., Hacskeylo, E. y Fisher, D., 1983. Ecto- and endomycorrhizal fungus associations with *Quercus imbricaria* L. *Plant and Soil*, 71(1-3), pp. 309-312.
- Ruiz-Diez, B., et al., 2006. Molecular characterization and evaluation of mycorrhizal capacity of *Suillus* isolates from central Spain for the selection of fungal inoculants. *Mycorrhiza*, 16(7), pp. 465-474.
- Sandoval-González, I., 2010. *Efecto de los hongos ectomicorrizógenos en el crecimiento y supervivencia de plántulas de Pinus hartwegii Lindl. y Abies religiosa (Kunth Scldtl. et Cham): un enfoque para la restauración de ambientes deteriorados en la cuenca del río Magdalena D.F.* Tesis de Maestría. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Santiago-Martínez, G., 2008. Los hongos ectomicorrizógenos en las prácticas de restauración. En: J. Álvarez-Sánchez, y Monroy-Ata, A., eds. *Técnicas de estudio de las asociaciones micorrízicas y sus implicaciones en la restauración*. México: Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 213-232.
- Santibañez-Andrade, G., 2009. *Composición y estructura del bosque de Abies religiosa en función de la heterogeneidad ambiental y determinación de su grado de conservación de la cuenca del río Magdalena, México, D.F.* Tesis de Maestría. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sarukhán, J., et al., 2009. *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- SEMARNAT, 2009. *Informe de la situación del Medio Ambiente en México 2008. Compendio de Estadísticas Ambientales*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT - SNIARN, 2012. Superficie reforestada. *Base de datos. Consulta temática. Recursos forestales, 2012*. Disponible en: [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx) [Consultado el 19 de julio de 2012]. Fecha de actualización: miércoles 25 de julio de 2012.

- SER, 2002. *The SER Primer Ecological Restoration*. Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. Disponible en: <http://www.ser.org> [Consultado el 12 de mayo de 2010].
- Smith S.E. y Read, D.J., 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. Nueva York. (Segunda edición) Academic Press.
- Tammi, H., Timonen, S. y Sen, R., 2001. Spatiotemporal colonization of Scots pine roots by introduced and indigenous ectomycorrhizal fungi in forest humus and nursery *Sphagnum* peat microcosms. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(5), pp. 746-756.
- Torres P. y Honrubia, M., 1994. Inoculation of containerized *Pinus halepensis* (Miller) seedlings with basidiospores of *Pisolithus arhizus* (Pers) Rauschert, *Rhizopogon roseolus* (Corda) Th M Fr and *Suillus collinitus* (Fr) O Kuntze. *Annals of Forest Science*, 51(5), pp. 521-528.
- van der Heijden M.G.A., *et al.*, 1998a. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. *Ecology*, 79(6), pp. 2082-2091.
- van der Heijden, M.G.A., *et al.*, 1998b. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396(6706), pp. 69-72.
- Velázquez, A., *et al.*, 2002. Patrones y tasas de cambio del uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica* 62, pp. 21-37.
- Villar, R., *et al.*, 2004. Tasa de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. 2008. En: F. Valladares, ed. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Madrid. Segunda edición: Ministerio de Medio Ambiente. EGRAF, S. A. pp. 193-230.
- Vogt, K., 1991. Carbon budgets of temperate forest ecosystems. *Tree Physiology*, 9(1-2), pp. 69-86.
- 

<sup>1</sup> Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Tlaxcala.

Correo electrónico autor de correspondencia: \* [javier.alvarez@ciencias.unam.mx](mailto:javier.alvarez@ciencias.unam.mx)



## EL VALOR INDICADOR DE LAS DIATOMEAS Y MACROALGAS BENTÓNICAS DEL RÍO MAGDALENA

*Javier Carmona Jiménez<sup>1\*</sup>, Rocío Ramírez Rodríguez<sup>1</sup>, Miriam Guadalupe Bojorge García<sup>3</sup>, Beatriz González Hidalgo<sup>2</sup> y Enrique Arturo Cantoral Uriza<sup>3</sup>*

### Introducción

Las comunidades acuáticas son elementos indicadores de la integridad ambiental, de acuerdo con la definición del estado ecológico en los ríos, es decir, son una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales (CEC, 2000); por lo tanto, la valoración del estado ecológico determinará la relación entre la cantidad y calidad de agua, y el manejo de los recursos. Las especies de diatomeas y macroalgas se han empleado frecuentemente como organismos sensibles ante los cambios químicos del agua, razón por la cual se han desarrollado numerosos índices bióticos que permiten detectar las variables de perturbación de la comunidad bentónica y su relación con la contaminación del agua (Round, 1981; Van Dam, 1994; Birk *et al.*, 2006; Tornés *et al.* 2007). Sin embargo, cualquier extrapolación de índices bióticos generados en circunstancias ajenas al sitio de estudio sólo podría considerarse como una aproximación relativa, ya que la combinación de las características climáticas y geológicas en las que se encuentra el sistema influyen en la respuesta que los organismos del sitio tienen hacia la composición química del agua (Stoermer y Smol, 1999). La precisión y confiabilidad del valor indicador de las especies de diatomeas y macroalgas dependerá, a su vez, de la precisión del análisis ecológico que relacione el comportamiento de las poblaciones de algas con el efecto de la perturbación humana. Por tal motivo, es necesario conocer, a escala global, los patrones de distribución de las especies y las actividades humanas asociadas a los ríos.

En el río Magdalena existen múltiples experiencias sobre el estudio de la diversidad acuática y su relación con el ambiente; sin embargo, la implantación de redes de seguimiento de control biológico es algo que no se ha desarrollado hasta la fecha. Los estudios sobre la distribución de

diatomeas y macroalgas en la región ponen de manifiesto la necesidad de incluir parámetros ambientales adicionales a la composición química del agua, que por lo general regulan la riqueza y diversidad de la comunidad bentónica, tales como la temperatura y el flujo de agua (Ramírez *et al.*, 2001, Ramírez y Cantoral, 2003; Bojorge-García y Cantoral, 2007; Jujnowsky *et al.*, 2010). En el río se han probado algunos índices bióticos de diatomeas, y se han detectado numerosos problemas relacionados con la región de estudio (Bojorge-García, 2006). Por ejemplo, la incompatibilidad de la riqueza específica y distintos gradientes ambientales y fuentes de contaminación en la zona. Por lo cual, aún es necesario determinar el valor indicador de cada especie y detectar la especificidad y fidelidad de los componentes biológicos que integran a la comunidad de diatomeas y macroalgas bentónicas en el río. Por ello, el presente estudio tiene como objetivo principal caracterizar el valor indicador de las especies en localidades poco perturbadas y sitios con una fuerte influencia humana, para identificar los taxa específicos relacionados con el estado ecológico del río Magdalena.

## **Método**

La selección de los sitios de muestreo se realizó con base en una cartografía con escala 1:50 000 (SMA-GDF y UNAM, 2008). En esta fase se consideró la distancia entre sitios menores a 5 km y la ubicación en puntos estratégicos para la calidad del agua. Es decir, los sitios de referencia fueron seleccionados por los posibles impactos que en ellos se producen y que son el origen de la mala calidad ecológica del río (Jujnowsky *et al.*, 2010). Si esto se produce o no, se validó con el análisis fisicoquímico del agua y la estimación del valor indicador de las comunidades de las algas bentónicas. Se analizaron seis sitios en el río, a saber: Chautitle, Truchero, Tercer Dinamo, Segundo Dinamo, central camionera y la confluencia con el río Eslava. Las colectas de diatomeas y macroalgas se llevaron a cabo en el periodo (mayo 2006 a enero 2007), empleando las técnicas estándares para cada grupo biológico de Bojorge-García (2006) y de Necchi *et al.* (1995). La frecuencia de muestreo fue trimestral, en las épocas más contrastantes del año: secas cálida, lluvia y secas fría. En cada sitio se registraron los siguientes parámetros fisicoquímicos del agua: temperatura, conductividad específica, oxígeno

disuelto y velocidad de la corriente. Asimismo, se transportó agua al laboratorio para el análisis de nutrientes (fósforo reactivo soluble, nitrógeno inorgánico disuelto, nitritos, nitratos y amonio) de acuerdo a Greenberg *et al.* (1985), ASTM (1989) y APHA (1995). El nivel trófico se determinó con el criterio propuesto por Dodds *et al.* (1998) y Dodds (2003) empleado en ambientes lóticos. Para establecer las diferencias en la composición fisicoquímica del agua entre los sitios de estudio, se realizó un análisis de agrupación (*hierarchical cluster*) propuesto por Dufrêne y Legendre (1997) con el programa SPSS v.12 (Gotelli y Ellison 2004). La utilidad de cada especie como indicador ecológico se evaluó por el método del Valor Indicador (IndVal), propuesto por Dufrêne y Legendre (1997). Este índice se calcula de la manera siguiente:

$$A_{ij} = N \text{ individuos}_{ij} / N \text{ individuos}_i.$$

Donde:

$A_{ij}$  es una medida de especificidad

$N \text{ individuos}_{ij}$  = número promedio de individuos de la especie  $i$  en todos los sitios del grupo  $j$

$N \text{ individuos}_i$  = suma de los promedios de individuos de la especie  $i$  en todos los grupos

Si  $B_{ij} = N \text{ sitios}_{ij} / N \text{ sitios}_j$

$B_{ij}$  es una medida de fidelidad,

$N \text{ sitios}_{ij}$  = número de sitios en el grupo  $j$  en donde la especie  $i$  está presente,

$N \text{ sitios}_j$  = número total de sitios en ese grupo.

Entonces, el porcentaje de valor indicador (IndVal) para la especie  $i$  en el grupo  $j$  es:

$$IndVal_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$$

Las especies con valor IndVal igual o superior a 50 se consideraron indicadoras de ese sitio particular, mientras que las especies con un valor menor a 50, pero mayor o igual a 25 se consideraron especies detectoras, que son aquellas que pueden responder mejor a cambios ambientales, ya que generalmente proveen información para más de un hábitat (Tornés *et al.*, 2007).

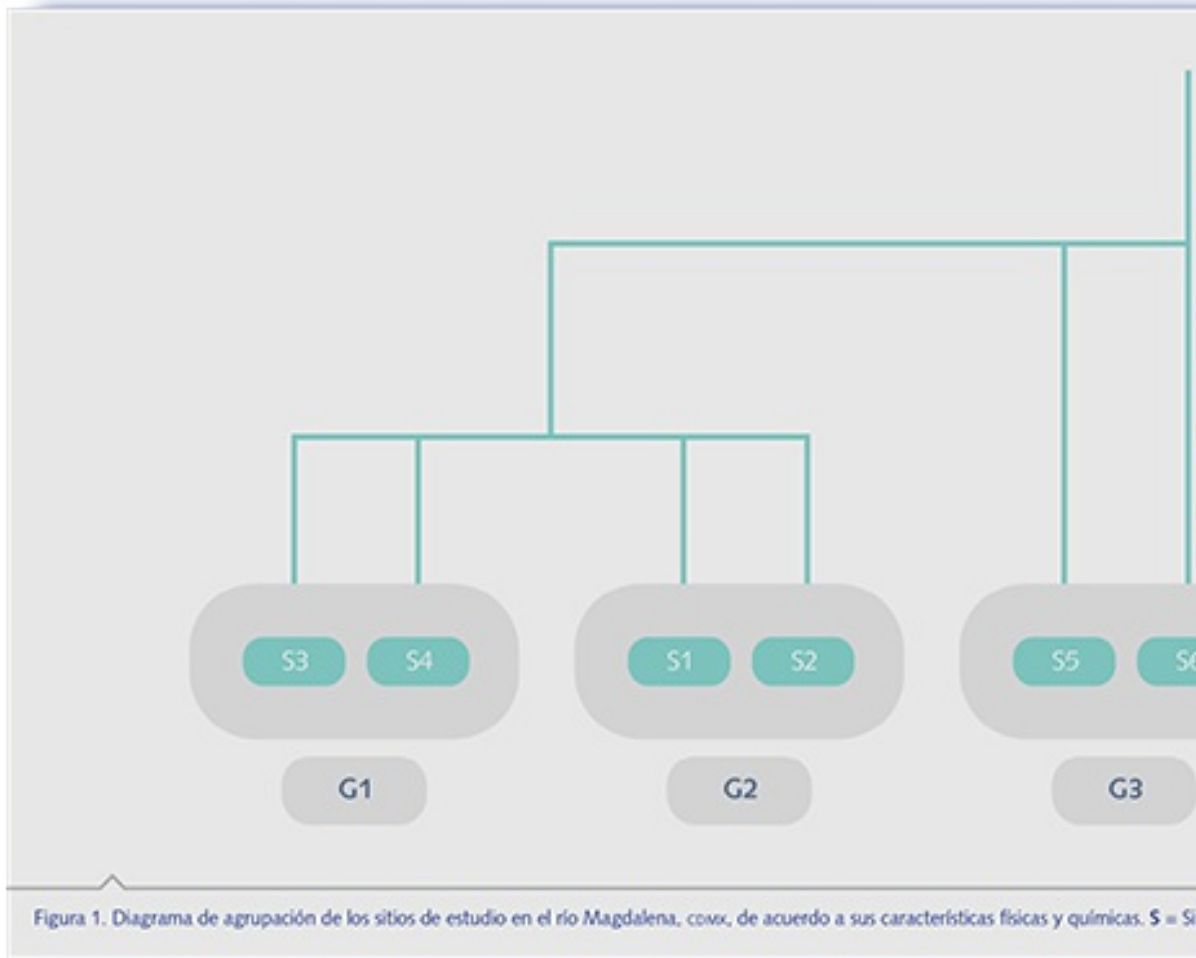
## Resultados

Con base en el análisis de agrupación de la composición fisicoquímica del agua se reconocieron tres grupos (Tabla 1, Fig. 1). El G1 incluyó dos sitios poco contaminados ubicados en la región alta de la cuenca: Chautitle y Truchero. El G2, de dos sitios, presentó aguas con un enriquecimiento moderado de nutrientes, que corresponde al Tercer y Segundo Dinamo. Finalmente, el G3 se formó con dos sitios de la porción baja de la cuenca y con agua altamente contaminada por el vertimiento de drenajes urbanos irregulares: la central camionera y la confluencia con el río Eslava.

Tabla 1

Tabla 1. Características físicas y químicas en los sitios de colecta del río Magdalena, comx (elaboración propia).									
Sitio y localización	Estación <sup>a</sup>	Temperatura (°C)	Conductividad específica (µS cm <sup>-1</sup> )	Velocidad de corriente (m s <sup>-1</sup> )	Oxígeno disuelto (%)	N-NH <sub>4</sub> <sup>b</sup>	N-NH <sub>3</sub> <sup>b</sup>	N-NH <sub>2</sub> <sup>b</sup>	NiD <sup>c</sup>
Chautitle 19°14'43.0" N 99°19'04.7" W	SC	8.8	76	0.80	6.3	0.0008	0.00001	0.24	0.24
	LI	8.5	54	0.81	7.8	0.000	0.00001	0.15	0.15
	SF	6.6	73	0.89	7.5	0.002	0.000009	0.28	0.28
Truchero 19°15'33.5" N 99°18'02.9" W	SC	7.9	73	0.92	7.7	0.0005	0.00001	0.22	0.23
	LI	9.8	62	1.23	7.9	0.000	0.00001	0.11	0.11
	SF	7	68	0.76	7.8	0.0007	0.000008	0.21	0.21
3er Dinamo 19°16'50.9" N 99°16'40.7" W	SC	11.2	87	0.08	7.1	0.0004	0.00002	1.8	1.8
	LI	9	70	0.78	8.5	0.000	0.000017	0.20	0.20
	SF	7	51	0.47	7.1	0.0006	0.000015	0.30	0.30
2º Dinamo 19°17'02.2" N 99°16'25.5" W	SC	11.6	92	0.36	7.1	0.0005	0.00002	1.0	1.0
	LI	10	73	0.58	9.5	0.000	0.00001	0.2	0.2
	SF	7.5	58	0.84	7.2	0.0009	0.00002	0.8	0.8
Central de Camiones 19°18'03.3" N 99°14'44.2" W	SC	17.8	114	0.30	4.4	0.01	0.03	2.0	2.13
	LI	12.7	140	0.50	8.4	0.002	0.02	1.0	1.02
	SF	10.2	314	0.40	8.8	0.004	0.05	1.0	1.05
Eslava 19°18'08.9" N 99°14'05.9" W	SC	18.3	445	0.30	5	0.1	0.1	8.0	8.2
	LI	13.5	82	0.70	8.2	0.08	0.1	3.5	3.68
	SF	11.2	580	0.30	6.8	0.02	0.1	2.0	2.12

<sup>a</sup> Estación: SC= seca cálida, LI= lluvia, SF= seca fría.  
<sup>b</sup> Concentración de nutrientes en mg l<sup>-1</sup>.  
<sup>c</sup> NiD= Nitrógeno Inorgánico Disuelto. Oligotrófico ≤ 0.7 mg l<sup>-1</sup>, mesotrófico 0.7-1.50 mg l<sup>-1</sup>, eutrófico ≥ 1.5 mg l<sup>-1</sup> (Doods et al. 1998 y Doods, 2003).  
<sup>d</sup> FRS = Fósforo Reactivo Soluble. Oligotrófico ≤ 0.025 mg l<sup>-1</sup>, mesotrófico 0.025-0.075 mg l<sup>-1</sup>, eutrófico ≥ 0.075 mg l<sup>-1</sup> (Doods et al. 1998 y Doods, 2003).



**Figura 1**

**Valor indicador de las especies de diatomeas** (Tabla 2 y 3, Figs. 2-26). Se reconocieron 25 especies con un alto valor indicador (> 50%), las cuales fueron tanto características de los grupos altamente contaminados, y del grupo que presentó agua sin rastros de perturbación humana. Se identificó un efecto estacional sobre el IndVal de las especies; en la época seca cálida se presentó el mayor número de especies con un alto valor indicador, mientras que el menor número de especies y menor IndVal estuvo relacionado con la época de lluvias. Las especies con el mayor IndVal promedio del G1 (*Navicula capitatoradiata*, *Adlafia minuscula*, *N. rynchocephala*, *Nitzschia heufleriana*, *N. incospicua*, *Reimeria sinuata* y *Staurosirella pinnata*) mostraron una preferencia por aguas oligosaprobias y una alta especificidad. Las especies del G2 presentaron una preferencia por aguas oligosaprobias, pero tolerantes a la presencia de nitrógeno y fósforo disueltos en el agua en alguna época del año (*Achnanthisiduum minutissimum*, *Cocconeis placentula*, *Cymbella mexicana*, *Diatoma*

mesodon, *Encyonema silesiacum*, *Fragilaria capucina*, *Gomphoneis clevei*, *Gomphonema parvulum*, *Melosira varians*, *Navicula cryptocephala*, *Rhoicosphaenia abbreviata* y *Ulnaria ulna*). Finalmente, las especies del G3 (*Fistulifera saprophila*, *Nitzschia minuta*, *N. palea* y *N. recta*) fueron específicas de los sitios de la zona urbana con alta contaminación.

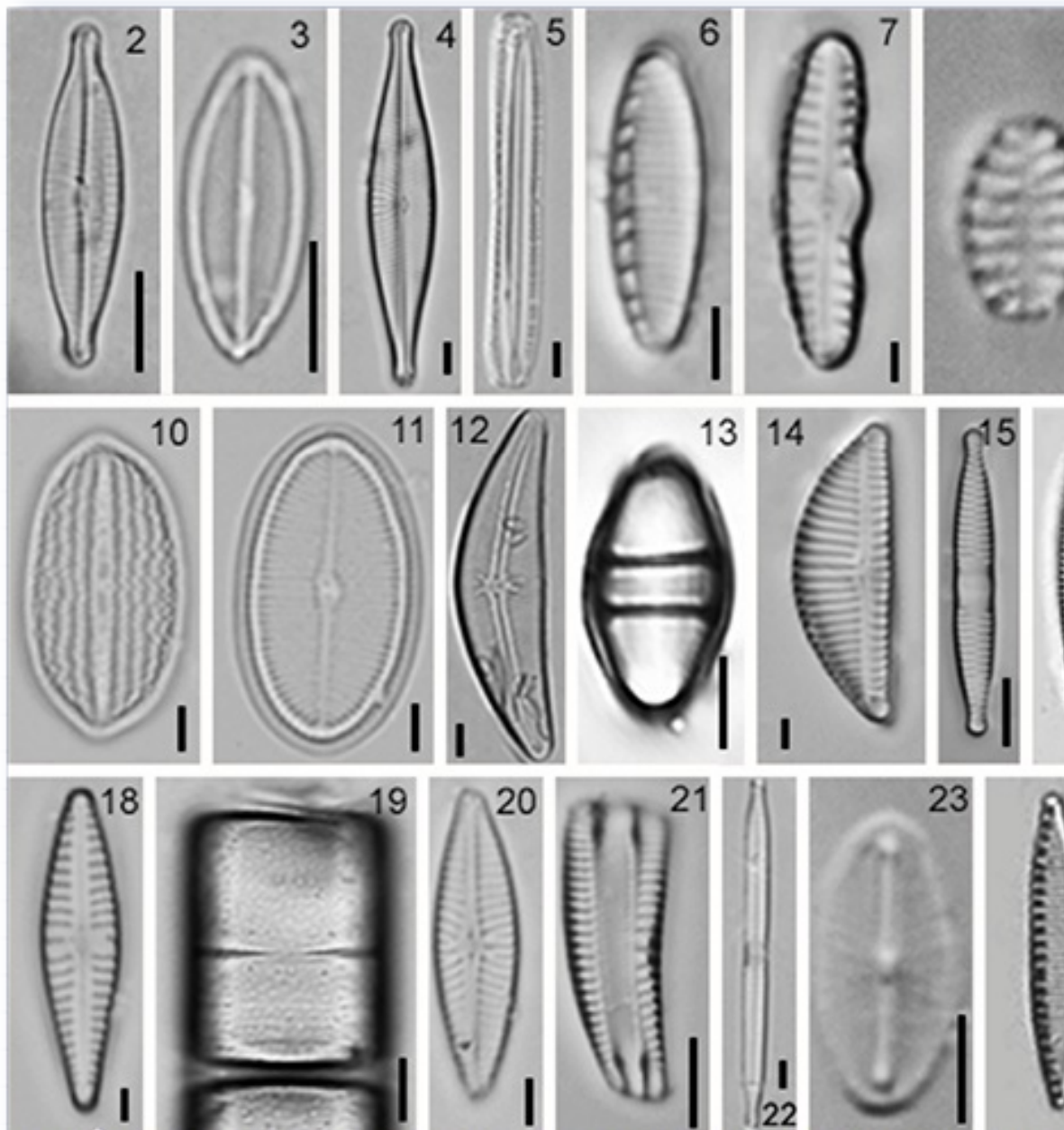
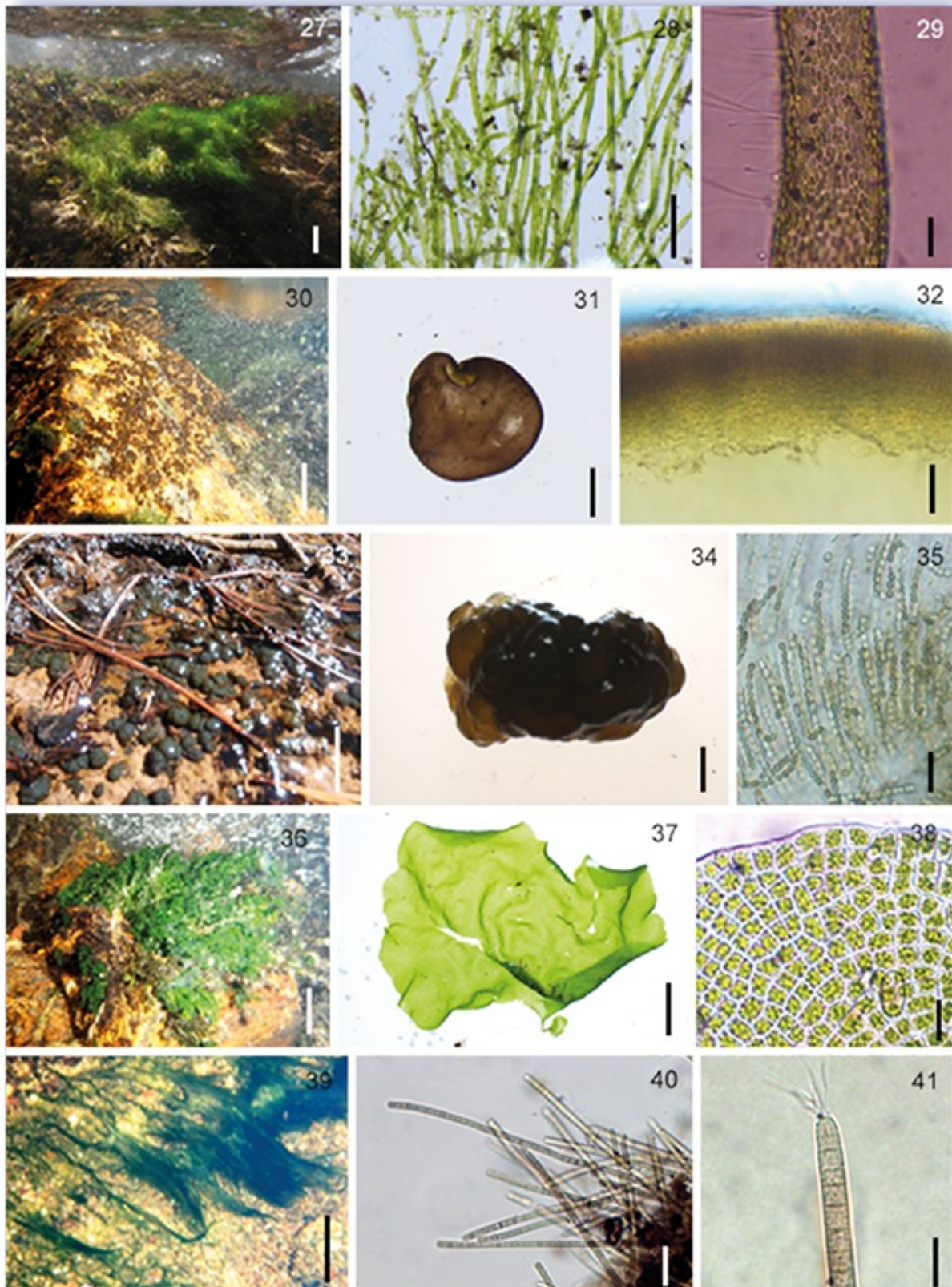


Figura 2 a 26. Especies de diatomeas indicadoras de la calidad ambiental en el río Magdalena. Oligotróficas: 2 *Navicula capillatoradiata* 3 *N. mir* 5 *Nitzschia heufferiana* 6 *N. inconspicua* 7 *Reimeria sinuata* 8 *Staurosirella pinnata*. Oligotróficas a mesotróficas: 9 *Achnantheidum minutissim* *frústulo* 11 *C. placentula*, *frústulo* 12 *Cymbella mexicana* 13 *Diatoma mesodon* 14 *Encyonema silesiacum* 15 *Fragilaria capucina* 16 *Gom* 18 *G. parvulum* 19 *Melosira varians* 20 *Rhoicosphaenia abbreviata* 21 *Navicula cryptocephala* 22 *Ulnaria ulna*. Eutróficas: 23 *Fistulifera sa* 25 *N. palea* 26 *N. recta*. Escala de la barra 3  $\mu$ m. (Fotos: Miriam Bojorge).

Figuras 2-26

**Valor indicador de las especies de macroalgas** ( Tabla 2 y 3, Figs. 27-41). Se reconocieron 5 especies con un alto IndVal ( $> 50\%$ ), estas especies fueron características tanto para los grupos de sitios altamente contaminados, como para el grupo que presentó agua sin rastros de perturbación humana. Se reconoció un grupo de especies detectoras en las que el IndVal fue variable de acuerdo a la época del año. La época de secas cálidas presentó el mayor número de especies con un alto valor indicador ( $> 50\%$ ), mientras que el menor número de especies e IndVal estuvo relacionado con la época de lluvias. Las especies con el mayor IndVal del G1 (*Placoma regulare*, *Vaucheria bursata* y *Nostoc parmelioides*) mostraron una preferencia por aguas oligotróficas y una alta especificidad. Las especies del G2 presentaron una preferencia por aguas oligotróficas pero tolerantes a la presencia de nitrógeno y fósforo disuelto en el agua en alguna época del año (*Prasiola mexicana*). Finalmente, el G3 formado por *Phormidium autumnale*, fue específico de un sitio de la zona urbana con contaminación alta.



Figuras 27 a 41. Especies de macroalgas indicadoras de la calidad ambiental en el río Magdalena. Oligotróficas: 27-29 *Vaucheria bursata* 27 Hábito 28 Filamentos cenocíticos 29 Plastidios discoidales 30-32 *Placorma regulare* 30 Hábito 31 Colonia hueca 32 Corte transversal de la colonia 35-35 *Nostoc parmelioides* 33 Hábito 34 Colonia mucilaginoso compacta 35 Corte transversal de la colonia. Oligotróficas a mesotróficas: 36-38 *Prasiola mexicana* 36 Hábito 37 Talo laminar 38 Superficie de la lámina 39-41 *Phormidium autumnale* 39 Hábito 40 Filamentos filiformes 41 Filamento apical. Escala de la barra 5 cm para 26, 29, 32, 35 y 38. 1 cm para 27, 30, 33 y 36. 10  $\mu$ m para 28, 31, 34, 37, 39 y 40. (Fotos: Miriam Bojorge).



# Figuras 27-41

## Tabla 2

Tabla 2. Valor indicador de las especies de diatomeas y macroalgas en el río Magdalena, cmx (elaboración propia).										
Taxa	Estación <sup>a</sup>	Grupo 1 <sup>b</sup>			Grupo 2 <sup>b</sup>			Grupo 3 <sup>b</sup>		
		F	S	IndVal	F	S	IndVal	F	S	IndVal
<b>Diatomeas</b>										
<i>Achnanthydium exiguum</i> (Grunow) Czarneci	SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LI	0	0	0	0	0	0	0.48	0.2	9.7
	SF	0	0	0	0	0	0	0.01	0.16	0.4
<i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kützing) Czarneci	SC	0.97	0.33	30.5	1.6	0.33	63	0.48	0.33	16.7
	LI	1.01	0.2	20	1.9	0.4	79	0.007	0.2	0.3
	SF	1.68	0.33	96	1.2	0.33	42	0.06	0.16	1.0
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	SC	0.34	0.33	11.2	2.6	0.33	88.8	0.001	0.33	0.04
	LI	1.70	0.2	35	1.6	0.4	66	0	0	0
	SF	1.70	0.33	57	1.3	0.33	43	0.0007	0.33	0.02
<i>Cymbella minuta</i> Hille ex Rabenhorst	SC	2.95	0.16	49.2	0	0	0	0	0	0
	LI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cymbella mexicana</i> (Ehrenberg) Cleve	SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LI	0	0	0	2.5	0.2	50	0	0	0
	SF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Diatoma mesodon</i> Kützing	SC	2.31	0.16	40	0	0	0	0	0	0
	LI	0	0	0	1.9	0.4	75	0	0	0
	SF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) D. G. Mann	SC	0.50	0.33	16.8	0	0	0	0.004	0.16	0.07
	LI	1.44	0.2	29	1.4	0.4	71	0.008	0.2	0.1
	SF	1.78	0.33	19.7	1.2	0.33	41	0.002	0.33	0.02
<i>Fistulifera saprophila</i> (Lange-Bertalot & Bonik) Lange-Bertalot	SC	0	0	0	0	0	0	3	0.16	50
	LI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	SC	2.10	0.33	70	0.89	0.33	30	0	0	0
	LI	2.21	0.2	44	1.4	0.4	56	0	0	0
	SF	1.46	0.33	48	1.5	0.33	17	0	0	0
<i>Gomphonema cleve</i> Fricke	SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LI	1.67	0.2	33	1.67	0.4	66	0	0	0
	SF	0.21	0.16	3.4	2.8	0.33	93	0	0	0
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LI	0	0	0	2.1	0.2	43	0	0	0
	SF	0	0	0	3	0.16	50	0	0	0
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	SC	1.88	0.33	62	1.1	0.33	37.2	0	0	0
	LI	0.33	0.2	5	2.3	0.4	93	0	0	0
	SF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Luticola mutica</i> (Kützing) D. G. Mann	SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SF	0	0	0	2.7	0.33	90	0	0	0
<i>Melosira varians</i> Agardh	SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LI	0	0	0	2.4	0.4	95	0	0	0
	SF	2.24	0.33	75	0.7	0.33	25	0	0	0
<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain	SC	2.55	0.33	85	0	0	0	0.21	0.33	7.1
	LI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SF	1.56	0.33	52	1.4	0.16	24	0	0	0
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	SC	1.96	0.33	65	1.3	0.33	34	0	0	0
	LI	1.7	0.2	34	1.6	0.4	66	0	0	0
	SF	1.45	0.33	48	1.5	0.33	52	0	0	0
<i>Navicula gregaria</i> Donkin	SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LI	0.25	0.2	5	1.8	0.4	75	0	0	0
	SF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula minuscula</i> Grunow	SC	1.95	0.33	64	0	0	0	0	0	0
	LI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula rynchocephala</i> Kützing	SC	2.07	0.33	69	0	0	0	0	0	0
	LI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SF	0	0	0	3	0.16	50	0	0	0
<i>Nitzschia heufferiana</i> Grunow	SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SF	3.0	0.16	50	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow	SC	2.09	0.33	70	0.91	0.33	30.4	0	0	0
	LI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia minuta</i> Bleisch	SC	0	0	0	0	0	0	3	0.33	100
	LI	0	0	0	0	0	0	2.5	0.4	100
	SF	0	0	0	0	0	0	3	23.7	100
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith	SC	0.02	0.33	0.7	0.05	0.33	1.92	2.9	0.33	97
	LI	2.12	0.2	42	0.69	0.4	27.7	0.74	0.4	30
	SF	1.65	0.33	55	0.97	0.33	32.4	0.37	0.33	12
<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch in Rabenhorst	SC	0	0	0	0	0	0	3	0.16	50
	LI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson) Round & Bukhtiyarova	SC	0.72	0.33	24	2.25	0.33	75	0.03	0.33	0.9
	LI	2.14	0.2	43	1.4	0.4	57	0.007	0.2	0.3
	SF	1.19	0.33	40	1.7	0.33	60	0.01	0.33	0.4
<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolek & Stoermer	SC	2.23	0.33	74	0.67	0.33	22	0.09	0.33	3
	LI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SF	2.47	0.33	82	0.51	0.16	8	0.01	0.33	0.47
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C. Agardh) Lange-Bertalot	SC	1.88	0.33	63	1.1	0.33	37	0.002	0.16	0.04
	LI	1.7	0.2	35	1.6	0.4	64	0	0	0
	SF	1.55	0.33	52	1.4	0.33	48	0.01	1.6	0.3
<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) D. M. Williams & Round	SC	2.05	0.33	70	0.89	0.33	30	0	0	0
	LI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	SC	2.15	0.33	71	0	0	0	0	0	0
	LI	0	0	0	2.1	0.4	88	0	0	0
	SF	1.8	0.3	60	0	0	0	0	0	0
<b>Macroalgas</b>										
<i>Vaucheria bursata</i> (O. F. Müller) C. Agardh	SC	100	100	100	0	0	0	0	0	0
	LI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SF	100	100	100	0	0	0	0	0	0
<i>Prasiola mexicana</i> J. Agardh	SC	39	100	39	61	100	61	0	0	0
	LI	47	100	47	53	100	53	0	0	0
	SF	59	100	59	40	100	40	0	0	0
<i>Placoma regulare</i> Broady & Ingerfeld	SC	79	100	79	21	100	21	0	0	0
	LI	0	100	0	0	0	0	0	0	0
	SF	47	100	47	53	100	53	0	0	0
<i>Nostoc parmelioides</i> Kützing	SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LI	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	SF	100	100	100	0	0	0	0	0
<i>Phormidium autumnale</i> (C. Agardh) Gomont	SC	0	0	0	0	0	0	100	50
	LI	0	0	0	0	0	0	100	50
	SF	0	0	0	0	0	0	100	50

Notas: a Estación: SC= seca cálida, LI= lluvia, SF= seca fría. b n= 2 sitios. F= fidelidad. S= especificidad. IndVal= Valor indicador.

**Tabla 3**

Tabla 3. Especies indicadoras de la calidad del agua en el río Magdalena, CDMX, con IndVal mayor al 50%. (Nivel trófico de acuerdo a Dodds et al., 1998 y Dodds, 2003).

	G1 (oligotróficas)	G1 y G2 (oligotróficas a mesotróficas)	G3 (eutróficas)
Diatomeas	<i>Navicula capitatoradiata</i> <i>N. minuscula</i> <i>N. rynchocephala</i> <i>Nitzschia heufferiana</i> <i>N. inconspicua</i> <i>Reimeria sinuata</i> <i>Staurosirella pinnata</i>	<i>Achnanthydium minutissimum</i>  <i>Cocconeis placentula</i> <i>Cymbella mexicana</i> <i>Diatoma mesodon</i> <i>Encyonema silesiacum</i> <i>Fragilaria capucina</i> <i>Gomphonema clevei</i> <i>G. gracile</i> <i>G. parvulum</i> <i>Melosira varians</i> <i>Navicula cryptocephala</i> <i>Rhoicosphenia abbreviata</i> <i>Ulnaria ulna</i>	<i>Fistulifera saprophila</i> <i>Nitzschia minuta</i> <i>N. palea</i> <i>N. recta</i>
Macroalgas	<i>Vaucheria bursata</i>  <i>Placoma regulare</i> <i>Nostoc parmelioides</i>	<i>Prasiola mexicana</i>	<i>Phormidium autumnale</i>

## Discusión

De acuerdo con los resultados de este estudio, la distribución de las comunidades de diatomeas y macroalgas bentónicas del río Magdalena están controladas espacial y temporalmente por múltiples factores físicos y químicos, incluido el efecto humano, éste particularmente en la parte baja de la cuenca. La distribución de las especies de diatomeas y macroalgas fue sensible a la velocidad de corriente y a los factores químicos, lo cual

establece la necesidad de incluir las características físicas en la definición del valor indicador de las especies y el estado ecológico de los ríos. En general, las especies que integran a las comunidades de diatomeas y macroalgas en los tres grupos corresponden a la descripción ambiental descrita en otros estudios de la región (Ramírez *et al.*, 2001; Ramírez y Carmona, 2005; Bojorge *et al.*, 2010; Segura-García *et al.*, 2010; Jujnowsky *et al.*, 2010). Las especies relacionadas con los sitios oligotróficos a mesotróficos (*Achnantheidium minutissimum*, *Fragilaria capucina*, *Navicula cryptocephala* y *Rhoicosphenia abbreviata*) han sido reportadas en ríos de alta montaña de agua poco mineralizada (Van Dam, 1994; Soininen *et al.*, 2004; Tornés *et al.*, 2007). Sin embargo, dichas especies pueden ser consideradas como especies detectoras, ya que permitieron reconocer los sitios relativamente bien conservados en épocas de lluvias y secas frías, y elevada concentración de nutrientes en época de secas y, por lo tanto, sitios con una incipiente perturbación ambiental. Asimismo, la abundancia de *Achnantheidium minutissimum* en la porción alta y media de la cuenca, puede estar favorecida por la elevada velocidad de corriente, además de una relación con la colonización temprana del sustrato (Kelly, 2002). La presencia de *Fistulifera saprophita* y *Nitzschia palea*, registradas en los sitios de agua contaminada, confirma la tolerancia a los aportes urbanos (Van Dam, 1994; Tornés *et al.*, 2007).

En relación a las macroalgas, la presencia de *Placoma regulare* y *Prasiola mexicana* se han descrito con mayor abundancia en ríos oligotróficos bien oxigenados de México (León-Tejera *et al.*, 2003; Ramírez *et al.*, 2007). Además, en algunas cuencas de la Franja Volcánica Transmexicana se han descrito bajo las mismas condiciones de oligotrofia (Bojorge *et al.*, 2010), razón por la cual se propone que el valor indicador de dichas especies pueda extrapolarse a otros ríos de la cuenca y/o de la Franja Volcánica Transmexicana. Asimismo, se propone a *Vaucheria bursata* y *Nostoc parmelioides* como especies que habitan en condiciones de agua limpia. Por otra parte, la presencia de *Phormidium autumnale* en el grupo de agua eutrófica coincide con los reportes previos con la presencia de abundantes especies del género *Phormidium* en sitios con elevado aporte de fósforo, tanto en ríos de regiones templadas como tropicales (Perona *et al.*, 1998; Perona y Mateo, 2006).

La tipología del río fue congruente con las asociaciones de diatomeas y macroalgas. Con base en el valor indicador de las especies y su distribución en el río Magdalena, podemos reconocer tres tipos de comunidades que corresponden a tres grupos de sitios con distinto grado de influencia humana. La dinámica estacional de la comunidad perteneciente al G1 estuvo relacionada con cambios en la velocidad de corriente. En el G2 se registró una combinación entre la velocidad del agua y un aporte de nutrientes en ciertas épocas del año. Finalmente, el G3 se presentó en sitios con poca variación estacional y en las características químicas del agua, ya que, en todo momento, se presenta como agua rica en nutrientes. Es notoria la relación entre el flujo de agua y el valor indicador de las especies. Esta característica merece la pena resaltarla, ya que la disminución y/o interrupción del caudal en el río puede ser tan importante como la contaminación del agua. La comunidad bentónica del ambiente fluvial es particular por las estrategias morfológicas, fisiológicas y reproductivas que presentan como respuesta al flujo continuo del agua. La construcción de presas o el desvío del caudal puede ser un elemento de perturbación que puede modificar radicalmente la dinámica del ecosistema de ribera (Biggs, 1996; Cantonati y Spitale, 2009. Carmona *et al.*, 2013).

El conocimiento del valor indicador de las diatomeas y macroalgas bentónicas del río Magdalena permitirá plantear acciones para el monitoreo de la calidad del estado ecológico del sistema. Para ello, es necesario continuar con la caracterización espacial y temporal de las poblaciones, así como la propuesta de estudios a largo plazo que permitan mitigar el efecto del mal uso del río. En el presente estudio se mostró una clara relación entre los sitios conservados y alterados por las actividades humanas, y las comunidades de algas presentes en ellos. Por ello, se propone como estudio de referencia para la caracterización del valor indicador de las especies, así como una propuesta metodológica inicial que permita monitorear intensivamente el ecosistema acuático, a partir de la generación de índices biológicos que se integren a la valoración del estado ecológico del río.

### **Agradecimientos**

Se agradece el apoyo financiero de los programas SDEI-PTID-02, PAPIIT IN211712 y PINCC 2012-2014 de la Universidad Nacional Autónoma de

México.

## Referencias

- APHA (American Public Health Association), 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington D.C: American Public Health Association. USA.
- ASTM., 1989. *Annual Book at ASTM*. Philadelphia: Standards Worldwide.
- Biggs, B.J.F., 1996. Patterns in periphyton of streams. En: R.J. Stevenson, Bothwell, M.L. y Lowe, R.L., eds. *Algal Ecology: Freshwater benthic ecosystems*. San Diego: California. Academic Press. pp. 31-56.
- Birk, S., Korte, T. y Hering, D., 2006. Intercalibration of assessment methods for macrophytes in lowland streams: direct comparison and analysis of common metrics. *Hydrobiologia*, 566 (1), pp. 417-430.
- Bojorge-García, M., 2006. *Indicadores biológicos de la calidad del agua en el río Magdalena, México, D.F.* Tesis de Maestría México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bojorge-García, M. y Cantoral, E., 2007. Estructura comunitaria de diatomeas asociadas a talos de *Prasiola mexicana* (Chlorophyta) en el río Magdalena, D.F. *Hidrobiológica*, 17 (1), pp. 11-24.
- Bojorge, G. M., et al., 2010. Temporal and spatial distribution of macroalgal communities of mountain streams in Valle de Bravo Basin, central Mexico. *Hydrobiologia*, 641 (1), pp. 159-169.
- Cantonati, M. y Spitale, D., 2009. The role of environmental variables in structuring epiphytic and epilithic diatom assemblages in springs and streams of the Dolomiti Bellunesi National Park (south-eastern Alps). *Fundamental and Applied Limnology/ Archiv für Hydrobiologie*, 174(2), pp. 117-133.
- Carmona, J., et al., 2013. El gran desafío de los seres vivos en ambientes fluviales. *Ciencias*, 107-108, pp. 67-75.
- Dodds, W.K., Jones R.J. y Welch, E B., 1998. Suggested classification of stream trophic state: distribution of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen and phosphorous. *Water Research*, 32, pp. 1455-1462.
- Dodds, W.K., 2003. Misuse of inorganic N and soluble reactive P concentrations to indicate nutrient status of surface Waters. *Journal of North American Benthological Society*, 22, pp. 171-181.

- Dufrêne, M. y Legendre, P., 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67 (3), pp. 345-366.
- CEC (Commission of the European Communities), 2000. Directive 2000/60/EC of The European parliament and of the council of 23 October 2000. Establishing a framework for community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, L327, pp. 1-72.
- García, E. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México: Instituto de Geografía.
- Gotelli, N.J. y Ellison, A.M., 2004. *A primer of ecological statistics*. Massachusetts: Sinauer Associates Inc.
- Greenberg, A.E., Trussell, R.R. y Clesceri, L.S., 1985. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington D.C: APHA.
- Jujnowsky, J., *et al.*, 2010. Hydrologic ecosystem services: water quality and quantity in the Magdalena River, Mexico City. *Hidrobiológica*, 20 (2), pp. 113-126.
- Kelly, M.G., 2002. Role of benthic diatoms in the implementation of the urban wastewater treatment directive in the river Wear, North-East England. *Journal of Applied Phycology*, 14 (1), pp. 9-18.
- León-Tejera, H., Montejano, Z.G. y Cantoral, U.E., 2003. Some little known Hydrococcaceae (Cyanoprokariota) from Central Mexico. *Algological Studies/ Archiv für Hydrobiologie*, 109 (1), pp. 363-374.
- Necchi O., Branco, L.H.Z. y Branco, C.C., 1995. Comparison of three techniques for estimating periphyton abundance in bedrock streams. *Archive für Hydrobiologie*, 134(1), pp. 393-402.
- Perona, E. y Mateo, P., 2006. Benthic cyanobacterial assemblages as indicator of nutrient enrichment regimes in a Spanish river. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 34 (1-2), pp. 67-72.
- Perona, E., Bonilla, I. y Mateo, P., 1998. Epilithic cyanobacterial communities and water quality: an alternative tool for monitoring eutrophication in the Alberche River (Spain). *Journal of Applied Phycology*, 10 (2), pp. 183-191.
- Ramírez, M. y Cantoral, E., 2003. Flora algal de ríos templados en la zona

- occidental de la cuenca del Valle de México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica*, 74 (2), pp. 143-194.
- Ramírez, R.R. y Carmona, J., 2005. Taxonomy and distribution of freshwater *Prasiola* (Prasiolales, Chlorophyta) in central México. *Cryptogamie Algologie*, 26 (2), pp. 177-188.
- Ramírez, R.R., Carmona, J. y Martorell, C., 2007. Microhabitat and morphometric variation in two species of *Prasiola* (Prasiolales, Chlorophyta) from stream in central Mexico. *Aquatic Ecology*, 41 (2), pp. 161-168.
- Ramírez, V.M., *et al.*, 2001. Flora algal del río La Magdalena, Distrito Federal, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 68, pp. 51-73.
- Round, F.E., 1981. *The ecology of Algae*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Segura-García, V., *et al.*, 2010. The genus *Navicula sensu stricto* in the upper Lerma basin, México. *Diatom Research*, 25 (2), pp. 367-383.
- SMA-GDF y UNAM (Secretaría del Medio Ambiente-Gobierno del Distrito Federal y Universidad Nacional Autónoma de México), 2008. *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena*. México: Gobierno del Distrito Federal, UNAM.
- Soininen, J., Paavola, R. y Muotka, T., 2004. Benthic diatom communities in boreal streams: community structure in relation to environmental gradients and spatial gradients. *Ecography*, 27 (3), pp. 330-342.
- Stoermer, E.F. y Smol, J.P., 1999. *The diatoms: Applications for the Environmental and Earth Science*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Tornés, E., *et al.*, 2007. Indicator taxa of benthic diatom communities: a case study in Mediterranean streams. *Annals limnologie- International Journal of Limnology*, 43 (1), pp. 1-11.
- Van Dam, H., Mertens, A. y Sinkel, J., 1994. A code checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 28 (1), pp. 117-133.
-

<sup>1</sup> Laboratorio de Biología de Algas, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, *campus* Ciudad Universitaria.

<sup>2</sup> Laboratorio de Ecosistema de Montaña, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, *campus* Ciudad Universitaria.

<sup>3</sup> Laboratorio de Ecología Acuática y Algas, Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, *campus* Juriquilla, Querétaro.

Correo electrónico autor de correspondencia: \* [jcj@fciencias.unam.mx](mailto:jcj@fciencias.unam.mx)



## CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN DE LAS UNIDADES AMBIENTALES DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

*Gabriela Santibáñez Andrade<sup>1\*</sup>, Silvia Castillo-Argüero<sup>2</sup>, Ma. Cecilia del Carmen Nieto de Pascual Pola<sup>1</sup>, Yuriana Martínez Orea<sup>2</sup>, Hugo Ariel Campos Hernández<sup>2</sup> y Víctor Ávila-Akerberg<sup>2</sup>.*

### **Introducción**

Dada la alta heterogeneidad ambiental en las cuencas hidrográficas, consecuencia de la accidentada topografía, es necesario clasificar el mosaico ambiental en unidades homogéneas para realizar cualquier estudio diagnóstico encaminado a la conservación (Carrilla y Grau, 2011; Velázquez y Bocco, 2003). Para lo cual es necesario cuidar dos aspectos importantes; la elección de un criterio apropiado para la clasificación del mosaico ambiental, ya que a menudo en diversos estudios se utilizan límites políticos u ordenamientos con un profundo desconocimiento del desarrollo metodológico de la ecología del paisaje y la calidad de la información obtenida, usualmente cuando se trata de una escala espacial amplia los datos son muy generales o meramente cualitativos, lo cual en diversos casos limita conocer a fondo aspectos ecológicos y funcionales del ecosistema. Una clasificación funcional del mosaico ambiental es aquella que se realiza en relación a los objetivos planteados, diseñada para una toma de datos robustos que pueden ser clave para el diseño de estrategias de conservación (López y Cervantes, 2002). Esta clasificación puede ser determinando unidades ambientales, considerando criterios ecológicos y geomorfológicos, tomando en cuenta aspectos como orientación de ladera, pendiente, vegetación, tipo de uso de suelo, cobertura vegetal. Este último aspecto brinda la oportunidad de realizar estudios particulares sobre las interacciones de las formas de vida presentes con su ambiente y el entorno humano (Forman y Godron, 1986; Bailey, 1996; Green *et al.*, 1996; López y Cervantes, 2002; Sánchez, 2003). Las unidades ambientales se pueden determinar a través de mecanismos de percepción remota con un análisis detallado de imágenes aéreas y de satélite en función a los objetivos del estudio (Kilpatrick, 1985; Hammond *et al.*, 1995; Lapin y Barnes, 1995; Margules y Redhead, 1995;

Wu y Loucks, 1995; Sánchez, 2003).

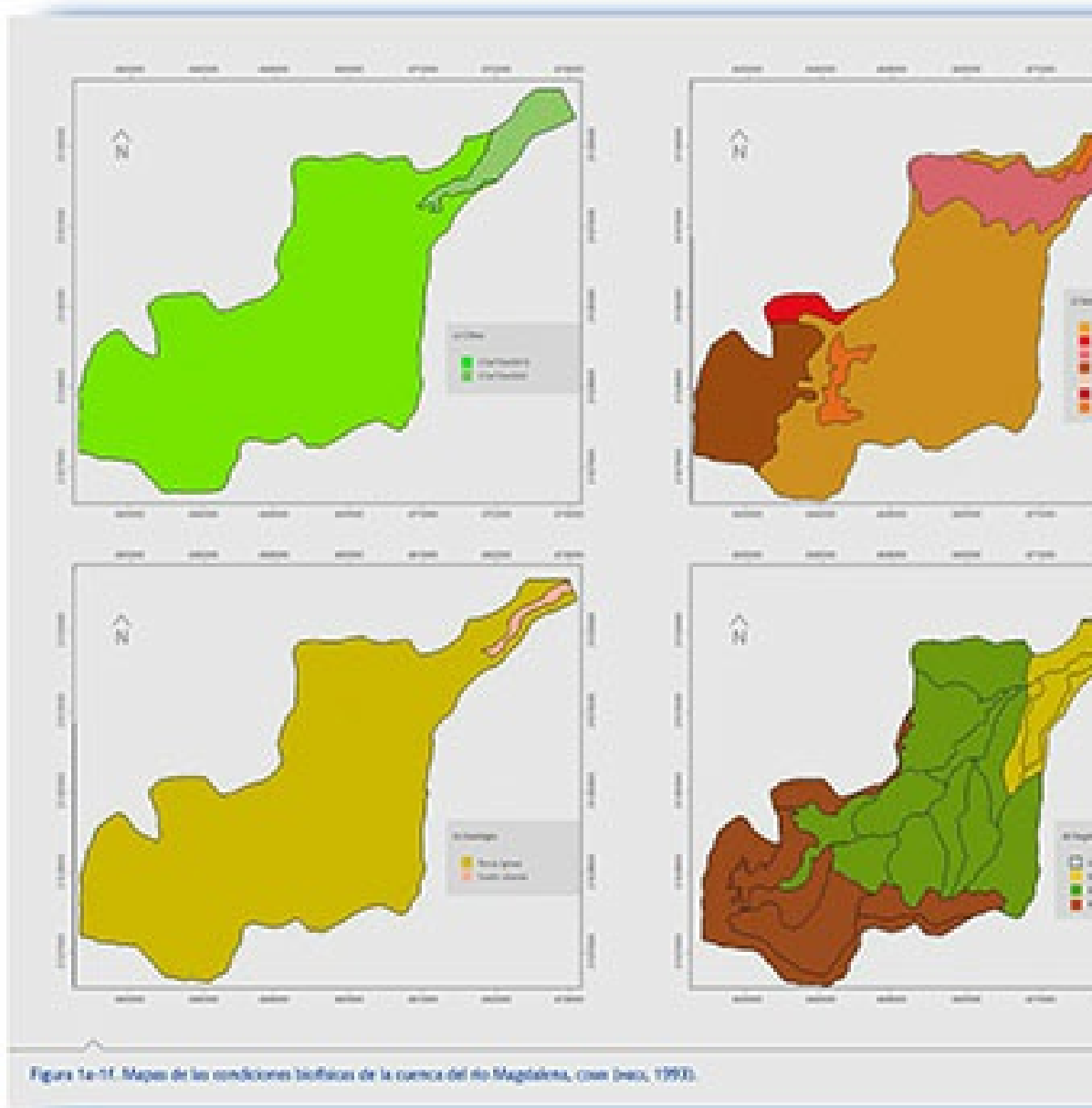
La estimación de la composición y diversidad a escala de unidad ambiental permite diferenciar los distintos grados de conservación y/o perturbación de los bosques bajo estudio. Esto es posible a través de la ponderación de las especies nativas en relación a las especies introducidas, ya que estas pueden ser indicadoras de la alteración de la estructura y funcionamiento del ecosistema receptor (Mooney y Hobbs, 2000). Varios estudios discuten la importancia de resaltar la presencia de especies introducidas y malezas en estudios de comunidades, ya que esto conduce a robustecer significativamente los valores de diversidad nativa para diferenciar sitios perturbados (Lugo, 2001; Rodríguez, 2001; Pysek *et al.*, 2004; López-Pérez *et al.*, 2011).

Este trabajo caracteriza la composición de la vegetación y aporta información relevante sobre los atributos más importantes por unidad ambiental, como base para generar estrategias de manejo y conservación de los bosques en la CRM.

## **Método**

Para realizar la descripción biofísica de la zona se digitalizaron mapas de topografía, geología, edafología, clima y vegetación (Bailey, 1996), (INEGI E14A38, A39 1993, escala 1: 25 000). A partir de información topográfica escala 1:10 000 con curvas de nivel cada 10 m, se generaron los modelos digitales de elevación (MDE) y de pendientes (MDP) dentro de los programas ArcView GIS 3.2 (ESRI, 1999) e ILWIS 3.2 (ITC, 2002).

La caracterización de las condiciones biofísicas de la cuenca del río Magdalena y la distribución de los tres principales tipos de bosque a través de mapas digitalizados (escala 1:25 000) se muestra en la figura 1. En ella es posible apreciar que el clima y la geología se presentan por lo general de forma homogénea en la zona (Figs. 1a y 1b). La CRM se conforma por tres principales tipos de bosque (de *Quercus* spp, de *Abies religiosa* y de *Pinus hartwegii*) (Fig. 1d). Además, existen otras comunidades vegetales que se encuentran limitadas pero que contribuyen a la heterogeneidad del sistema como lo son bosques mixtos (ecotonos de los principales tipos de bosque), pastizales y matorrales (Ávila-Akerberg, 2002).



**Figuras 1a, 1b, 1c, 1d, 1f, 1g**

El modelo digital de elevación muestra que la topografía y el relieve de la cuenca es de gran complejidad (Fig. 1e). La mayor parte de las pendientes son pronunciadas, aunque existen zonas planas y con pendiente ligera ( $< 30^\circ$ ) (Fig. 1f). Los intervalos altitudinales en el relieve montañoso son de 2 570 a 3 850 msnm, donde la altitud mínima se presenta en el noroeste, en el límite que divide el área natural con la urbana y aumenta en dirección noreste a suroeste siendo el cerro “El Muñeco” el más alto con 3 850 m de altitud, ubicado al suroeste de la cuenca (Ávila-Akerberg, 2002).

La delimitación de las unidades se realizó dentro de la zona natural del Suelo de Conservación a través de la fotointerpretación de fotos aéreas a

color de la zona, escala 1:25 000 (2008) y de estereoscopía (Newton, 2007), lo que permitió la observación tridimensional de los detalles de la superficie terrestre que reflejan la complejidad topográfica de la zona además de observar el componente de la vegetación (Wolf y Dewitt, 2000; Palma y Sánchez, 2005). Esta delimitación se realizó usando los criterios de orientación de ladera, pendiente y vegetación. Esta información se digitalizó en la fotografía aérea georreferenciada y ortocorregida con el método de GCPs (puntos de control en tierra), con los programas ILWIS 3.2 y Arc View 3.2.

La descripción se llevó a cabo con los atributos siguientes: tipo de suelo, altitud, extensión, orientación de la ladera, tipo de pendiente y de bosque, además del grado de apertura de dosel y densidad arbórea y grado de conservación. Éste último se determinó con base en la densidad arbórea a través de la observación estereoscópica detectando áreas abiertas o desprovistas de cobertura forestal (Franklin, 2001; Pekkarinen y Tuominen, 2003). Esta caracterización permite tener una perspectiva general de las unidades ambientales para posteriormente verificar y evaluar en campo, a un nivel más detallado, el estado de conservación a través de la composición vegetal. Cabe mencionar que en este estudio la escala de aproximación es a nivel de unidad ambiental por tipo de bosques (*Quercus* spp, de *Abies religiosa* y de *Pinus hartwegii*).

Para la caracterización de la estructura vegetal de las unidades ambientales se establecieron 75 parcelas de 25 x 25 m, en las que se registraron las siguientes variables biológicas: composición de especies, densidad, cobertura y área basal. Con estas variables se elaboró el índice de valor de importancia, para conocer el papel que tiene cada especie dentro de la unidad ambiental. El valor de importancia ( $V_i$ ) fue calculado a partir de la fórmula siguiente:

$$V_i = D_{ri} + F_{ri} + C_{ri}$$

Donde  $D_{ri}$ ,  $F_{ri}$ , y  $C_{ri}$  representan la densidad relativa, frecuencia relativa y cobertura relativa de la especie  $i$  arbórea o herbácea respectivamente. Este índice de valor de importancia fue calculado para las especies típicas de bosque denominadas en este trabajo nativas y para las malezas tanto nativas como las introducidas. Estas últimas se determinaron con base en el origen (aquellas que no corresponden al territorio

mexicano) y aquellas que se reportan como malezas en los listados florísticos de la zona (CONABIO, 2013). Cabe mencionar que los datos que corresponden a los bosques de *Quercus* spp. y de *Abies religiosa* pertenecen al estudio de Santibáñez-Andrade y Castillo-Argüero (2012) y los datos del bosque de *Pinus hartwegii*, pertenecen al trabajo de Ávila-Akerberg (2009).

## Resultados

Se determinaron 21 unidades ambientales en la zona natural, cuatro pertenecientes al bosque de *Quercus* spp. (denominadas QU1 a QU4) once que corresponden al bosque de *Abies religiosa* (AU1 a AU11) y seis al de *Pinus hartwegii* (PU1 a PU6) (Fig. 2). La caracterización de las unidades ambientales se presenta en la tabla 1, donde se enlistan los atributos más relevantes de cada una, resaltando el intervalo altitudinal, la orientación y el grado de conservación.



**Figura 2**

**Tabla 1**

Tabla 1. Descripción de las unidades ambientales.

Suelo, Ah: Andosol húmico; Ao: Andosol ócrico; Fh: Feozem háptico; Fl: Feozem lúvico; Lit: Litosol, pendiente ligera = <30°, moderada = entre 30-60° y pronunciada = de 60-90°. Grado de conservación: bajo = perturbado, medio = semiconservado y alto = conservado (elaboración propia).

Unidades	Suelo	Altitud msnm	Extensión ha	Orientación y pendientes	Vegetación	Grado de conservación del bosque
QU1	Ah Lit/Ah	2 700 a 3 000	76.2	SE ligera	Bosque de <i>Quercus rugosa</i> , <i>Q. laurina</i> y <i>Q. crassipes</i>	Dosel cerrado, muy denso y conservado
QU2	Ah/Lit	2 700 a 3 100	102.5	NW alta	Bosque de <i>Quercus laurina</i> , <i>Garrya laurifolia</i> y pastizal	Dosel abierto, poco denso y perturbado
QU3	Ah/Lit Ah	2 700 a 3 100	39.4	NW y NE alta	Bosque de <i>Quercus rugosa</i> y <i>Garrya laurifolia</i>	Dosel abierto, poco denso y perturbado
QU4	Ah/Lit Ah	2 800 a 3 200	44.3	NE y NW alta	Bosque de <i>Quercus rugosa</i> , <i>Garrya laurifolia</i> y pastizal inducido	Dosel abierto, poco denso y perturbado
AU1	Ah/Lit	2 900 a 3 400	187.5	S alta	Bosque de <i>Abies religiosa</i> con pastizal	Dosel abierto, poco denso y perturbado
AU2	Ah/Lit	2 900 a 3 400	214.9	S moderada	Bosque de <i>Abies religiosa</i> - <i>Pi- nus ayacahuite</i>	Dosel cerrado, muy denso y conservado
AU3	Ah	2 800 a 3 100	60.1	SE ligera	Bosque de <i>Abies religiosa</i> y <i>Ceanothus coeruleus</i>	Dosel abierto, semidenso y semiconservado
AU4	Ah	3 000 a 3 100	101.3	W alta	Bosque de <i>Abies religiosa</i> , <i>Pinus ayacahuite</i> y <i>Prunus serotina</i>	Dosel abierto, semidenso y perturbado
AU5	Ah	3 100 a 3 400	202.6	W alta	Bosque de <i>Abies religiosa</i>	Dosel cerrado, muy denso y conservado
AU6	Ah	3 100 a 3 500	118.7	E Ligera	Bosque de <i>Abies religiosa</i> - <i>Pi- nus ayacahuite</i>	Dosel cerrado, semidenso y semiconservado
AU7	Ah	3 200 a 3 600	104.7	W Ligera	Bosque de <i>Abies religiosa</i> , <i>Garrya laurifolia</i> y <i>Sambucus nigra</i>	Dosel cerrado, muy denso y conservado
AU8	Ah	3 200 a 3 500	127.5	SE Alta	Bosque de <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus montezumae</i>	Dosel abierto, semidenso y perturbado
AU9	Ah	3 200 a 3 600	143.2	N Moderada	Bosque de <i>Abies religiosa</i> y pastizal	Dosel cerrado, muy denso y conservado
AU10	Lit/Ah	3 200 a 3 600	92.5	E y W Alta	Bosque de <i>Abies religiosa</i> y pastizal	Dosel abierto, semidenso y conservado
AU11	Lit/Ah	3 200 a 3 600	105.8	W y E Alta	Bosque de <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus hartwegii</i>	Dosel abierto, semidenso y conservado
PU1	Ah/Ao/Fk	3 500 a 3 700	93.1	SW Alta	Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> y <i>Abies religiosa</i>	Dosel cerrado, denso y conservado
PU2	Ao/Fh/Lit	3 500 a 3 800	113.5	E Moderada	Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> y pastizal	Dosel muy abierto, poco denso y conservado
PU3	Ao/Fh/Lit Ah	3 500 a 3 800	314.5	NE y NW ligera	Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> y pastizal	Dosel abierto, poco denso y conservado
PU4	Ao/Fh/Lit Lit/Ah Ah	3 400 a 3 600	98.7	NE Moderada	Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> y pastizal	Dosel abierto, poco denso y conservado
PU5	Ao/Fh/Lit Lit/Ah Ah	3 400 a 3 700	247.6	NW Moderada	Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> y pastizal	Dosel abierto, poco denso y conservado
PU6	Ah	3 400 a 3 600	129.3	NW Ligera	Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> , <i>Abies religiosa</i> y pastizal	Dosel abierto, poco denso y conservado

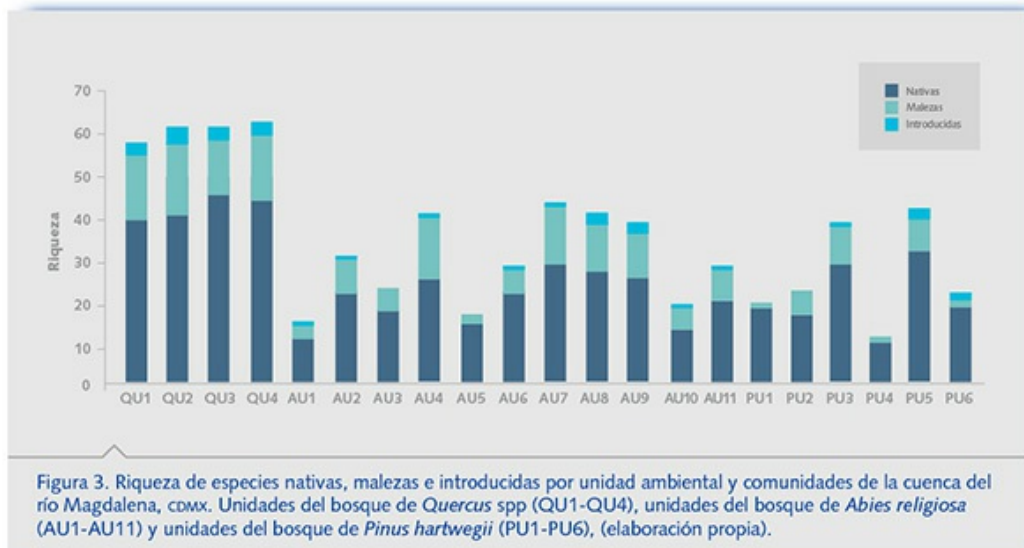
En relación a la estructura de la vegetación, se determinaron un total de 189 especies para los tres tipos de bosque que representan el 37% de las 518 reportadas para la CRM por (Ávila-Akerberg *et al.*, 2008; Santibáñez-Andrade, 2009; Castillo-Argüero, 2012). La figura 3 muestra la riqueza

que presentó cada unidad ambiental por tipo de bosque en los estratos arbóreo y herbáceo. El bosque de *Quercus* spp fue el que presentó mayor riqueza de los tres tipos de comunidades, donde 17 especies son arbóreas y 106 herbáceas y arbustivas. El bosque de *Abies religiosa* presentó 98 especies, donde 10 son arbóreas y 88 son hierbas o arbustos. En el caso del bosque de *Pinus hartwegii* registraron 59 especies donde sólo tres son arbóreas y 56 conforman el estrato herbáceo y arbustivo.

La riqueza del bosque de *Quercus* spp por unidad ambiental osciló entre 58 y 62 especies, siendo la unidad QU2 la que registró un mayor número de especies tanto arbóreas como del sotobosque (14 arbóreas y 48 herbáceas y arbustivas). En relación a la distribución de la riqueza en las unidades ambientales de este bosque se observa una marcada homogeneidad en el número de especies.

En lo que respecta al bosque de *Abies religiosa*, la riqueza por unidad ambiental osciló entre 16 a 44. Es importante resaltar que en la distribución de la riqueza en las unidades ambientales de este bosque se observa un reparto diferencial del número de especies. Las unidades con mayor riqueza en el estrato arbóreo fueron la AU6 (seis) y la AU7 (cinco), sin embargo, las unidades con mayor número de especies en el sotobosque fueron las AU7, AU8 (39) y AU9 (38). Respecto al bosque de *Pinus hartwegii* la riqueza entre las unidades osciló entre 13 y 44 especies. La PU5 (46 especies) fue la que presentó mayor número de especies.

La riqueza de especies nativas, malezas e introducidas también fue diferente en cada unidad ambiental (Fig. 3). La riqueza de especies nativas en las unidades de *Quercus* spp osciló de 40 a 46 siendo la unidad QU3 la que registró mayor número de especies nativas y la unidad QU1 la que presentó menor número. La riqueza de malezas osciló entre 12 y 15 especies, siendo QU1 y QU2 las unidades con los valores más altos (en toda la cuenca) y QU3 la del valor más bajo. En relación a las introducidas el número de especies osciló entre 3 y 4, siendo sólo la QU4 la que presentó el valor más alto.



**Figura 3**

La riqueza de especies nativas en las unidades de *Abies religiosa* osciló entre 12 y 32 especies, siendo la unidad AU7 la que alcanza el número más alto y la unidad AU1 la que contiene menor número de especies nativas. La presencia de malezas en este tipo de bosque osciló entre 2 y 14 especies, siendo la AU4 en la que se registraron mayor número de especies y la AU5 la que presentó menor número. En relación a las especies introducidas, se encontraron de 0 a 3 especies siendo las unidades AU8 y AU9 las que presentaron mayor número de éstas y las AU3 y AU5 no presentaron ninguna especie.

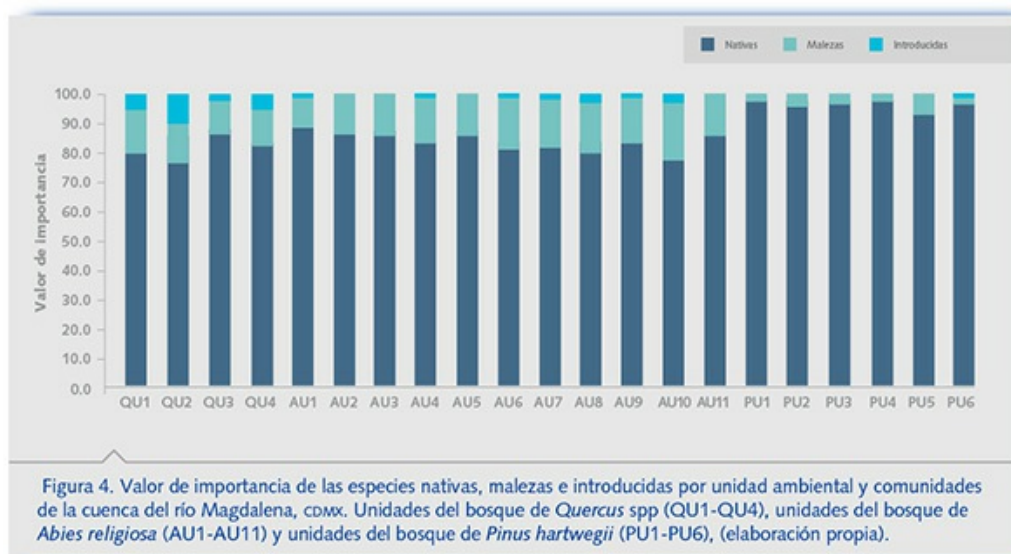
La riqueza de especies nativas en las unidades de *Pinus hartwegii* osciló entre 12 y 35 especies siendo la PU5 la que registró el mayor número de especies y la PU4 la que menor número registró. La presencia de malezas osciló entre 1 y 7 especies donde PU3 y PU5 fueron las unidades con mayor número de especies y PU4 la que sólo registró una especie. La presencia de especies introducidas en este bosque es reducida ya que sólo las unidades PU5 y PU6 registraron 2 especies, la PU3 sólo una y en el resto de las unidades no se encontró ninguna especie.

La composición de la vegetación, expresada en el índice de valor de importancia, muestra una alta heterogeneidad biótica, ya que existen diferencias en la distribución de las especies nativas, malezas e introducidas tanto entre los tipos de bosques y entre las unidades ambientales (Fig. 4).

Para el bosque de *Quercus* spp se encontró que las especies nativas



aportaron de un 77 a 85% del total de las especies en relación a su valor de importancia. La unidad QU3 presentó el valor más alto y la QU2 el más bajo. El valor de importancia de las malezas fue de 12 a 16%, siendo la unidad QU1 la que presentó el valor más alto, el resto de las unidades se encuentran con los valores más bajos. En relación a las especies introducidas su valor de importancia osciló entre 1 y 10%, siendo la unidad QU2 la que alcanzó el valor más alto y la QU3 el más bajo (Fig. 4).



**Figura 4**

En el bosque de *Quercus* spp, las especies de mayor valor de importancia del estrato arbóreo son *Quercus rugosa* (QU1 y QU3), y *Quercus laurina* (QU2 y QU3); así mismo, la unidad QU2 es la de mayor riqueza arbórea. En relación con los estratos arbustivo y herbáceo, las especies de mayor valor de importancia para todas las unidades del bosque de *Quercus* spp. fueron *Solanum cervantesii*, *Fuchsia microphylla*, *Archibaccharis hirtella* y *Smilax moralensis*, todas especies nativas. En la unidad QU2, las especies *Hedera helix* y *Asplenium monanthes* alcanzan altos valores de importancia, estas especies están consideradas como introducidas para México, lo cuál puede ser un indicador de un bajo estado de conservación de la unidad y podrían ocasionar el riesgo de desplazar a especies nativas. Respecto a las especies que son malezas, *Salvia mexicana* tienen valores de importancia considerables en las unidades QU1, QU2 y QU3, mientras que *Acaena elongata* se encuentra en las unidades QU2 y QU4 e *Iresine diffusa* sólo se encuentra en la unidad QU1.

Para el bosque de *Abies religiosa* se encontró que las especies nativas

aportaron de un 75 a un 90% del total de las especies en relación a su valor de importancia. La unidad AU1 presentó el valor más alto y la AU10 el valor más bajo. El valor de importancia de las malezas fue de 8 a 21% siendo la AU10 la que presentó el valor más alto y la AU1 con el más bajo. En relación a las especies introducidas su valor de importancia osciló entre 0 y 3% siendo la unidad AU10 la que alcanzó el valor más alto y las AU3 y AU5 con los valores más bajos (Fig. 4).

Las unidades ambientales del bosque de *Abies religiosa* están dominadas por esta especie en su totalidad, aunque se encuentra otras especies acompañantes. Otras especies con altos valores de importancia son *Pinus ayacahuite* y *P. montezumae*, estas especies se encuentran en casi todas las unidades de este bosque, aunque, cabe mencionar, que su presencia es resultado de la reforestación que se ha realizado en la zona (Ávila-Akerberg, 2002). En cuanto al estrato arbustivo y herbáceo las especies características de este bosque en función de su valor de importancia, fueron *Roldana angulifolia*, *Ageratina glabrata*, *Solanum cervantesii*, *Roldana barbajohannis*, *Salvia elegans* y *Symphoricarpus microphyllus*, entre otras, mismas que son características del bosque templado. Por otra parte la maleza *Acaena elongata*, se encontró con altos valores de importancia en las unidades AU5, AU9, AU10 y AU11, la maleza *Alchemilla procumbens* en las unidades AU6 y AU9, *Oenothera rosea* está representada en mayor medida en la AU10 y la especie *Stellaria cuspidata* se encontró en menor medida en las AU5 y AU6. Por último la maleza arbórea *Sambucus nigra* se encuentra en mayor proporción en las unidades AU7 y AU8. La especie *Lactuca serriola* una introducida para México se encontró en mayor medida en la AU10.

Para el bosque de *Pinus hartwegii* las especies nativas aportaron de un 90 a 97% del total de las especies en relación a su valor de importancia. La unidad PU4 presentó el valor más alto y la PU5 el valor más bajo. El valor de importancia de las malezas fue de 2 a 10%, siendo la unidad PU5 la que presentó el valor más alto y la PU6 con el valor más bajo. En relación a las especies introducidas su valor de importancia osciló entre 0 y 1%, siendo la unidad PU6 la que alcanzó el valor más alto y las PU1, PU2 y PU4 sin presencia de éstas especies (Fig. 4).

En el bosque de *Pinus hartwegii*, esta especie fue dominante en cinco

de las seis unidades, la unidad P1 posiblemente es un ecotono con el bosque de *Abies religiosa*. El estrato arbustivo y arbóreo están dominados por *Calamagrostis toluensis*, *Alchemilla vulcanica*, *Muhlenbergia quadridentata* y *Festuca toluensis* principalmente. En este tipo de vegetación la maleza *Acaena elongata* se encuentra presente principalmente en la unidad PU5 con un valor de importancia alto y en menor medida en la unidad PU1 y PU6. Otra maleza presente en las unidades PU1, PU2 y PU3 es *Eryngium carlinae*, mientras que la PU6 presenta dos especies introducidas que son *Plantago major* y *Taraxacum officinale*, sin embargo, sus valores de importancia son muy bajos.

### **Discusión**

Consideramos que la clasificación del mosaico ambiental a partir de la delimitación en unidades ambientales es una escala sumamente útil, porque proporciona una base sólida para el análisis y evaluación del espacio para generar estrategias de planeación puntuales de todo el bosque. Por otro lado, este tipo de prospección *a priori* permite tomar las primeras decisiones acerca de cuáles elementos merecen atención con un mayor detalle en el trabajo diagnóstico (Fuller, 1998; Ávila-Akerberg y Almeida-Leñero, 2009). De este modo la delimitación de unidades facilitó la caracterización de la vegetación. La calidad de la información reflejada en la obtención de variables puntuales como cobertura, densidad y frecuencia de las especies no sólo brindó una aproximación cualitativa de la composición de la vegetación, sino que fue posible estimar el aporte de cada una de las especies en cada unidad ambiental y tipo de vegetación a partir del índice de valor de importancia.

En relación a la riqueza y la composición de las especies características del bosque, malezas nativas e introducidas, estos valores bien podrían utilizarse como indicadores del grado de conservación de cada una de las unidades. Debido a la connotación biológica de la presencia de estas especies relacionada a la presencia de disturbios o signos de perturbación.

Esta composición en las unidades denotó en algunos casos un dictamen diferente del estado de conservación al que se le atribuyó a una escala mayor (Tabla 1) ya que una unidad “conservada” en una escala, en la otra se pueden apreciar “signos de deterioro”. Estos resultados brindan

una idea de la conformación estructural del sistema y de la dinámica de la comunidad, la cual permite tener argumentos sólidos para el diseño de estrategias de mantenimiento y conservación de la biodiversidad; como por ejemplo, erradicar aquellas especies que puedan arrestar la sucesión o desplazar algunas especies nativas (Noss, 1983; Santibáñez-Andrade, 2009; Martínez-Orea, 2011).

Tal es el caso de la presencia de *Hedera helix* especie introducida en el bosque de *Quercus* spp. que está presente en el sotobosque de la unidad QU2, siendo su presencia un signo de bajo grado de conservación, sin embargo, el estrato arbóreo de esta unidad es más diverso en relación a las demás unidades de este tipo de bosque.

El caso de las malezas en las unidades del bosque de *Abies religiosa* también es un ejemplo de la contradicción del estado de conservación entre los dos estratos. Principalmente la especie *Acaena elongata* maleza nativa, es de las más abundantes en todas las unidades de este bosque, sobre todo en aquellas unidades en donde el estrato arbóreo presenta una alta densidad arborea como la A10 y A11 (Santibáñez-Andrade, 2009). Sin embargo, se ha discutido que la presencia de esta especie puede no ser un hecho negativo ya que Rzedowski (1978) la considera especie nativa de la sucesión secundaria de los bosques templados (Carrilla y Grau, 2011). La presencia de esta especie puede ser un indicador de actividad antrópica y su abundancia puede ser una amenaza sobre la biodiversidad, ya que las malezas tienen ventajas adaptativas que podrían estar ocasionando el desplazamiento de otras especies. Tanto su ubicación, como su nivel de presencia permitirán establecer algunas estrategias de manejo de esta especie, como monitorear su establecimiento y sus requerimientos ecológicos en las diferentes asociaciones donde esta especie está presente. Por otro lado, cabe mencionar que en las unidades AU7 y AU8 la maleza arborea *Sambucus nigra* puede considerarse una especie indicadora de perturbación, ya que presenta valores de importancia altos. El origen de esta especie ha sido controversial ya que CONABIO (2013) la reporta como maleza nativa para México, sin embargo, se ha registrado como especie europea (Pollard y Cussans, 1976; 1981), este hecho podría ser interesante para abordar estudios posteriores acerca del papel que juega esta especie y los efectos en la comunidad.

En el bosque de *Pinus hartwegii* todas sus unidades ambientales se caracterizan por presentar una baja densidad arbórea, menor diversidad de especies, y menor número de malezas nativas e introducidas. Cabe mencionar que aunque estas especies ya están presentes en los eventos de banco y lluvia de semillas, sus valores de importancia son muy bajos en la vegetación en pie (Martínez-Orea, 2011). Aunque, el diagnóstico general de este estudio es de un buen estado de conservación en función de su composición, al ser una zona con un régimen de disturbio alto (con la mayor presencia de incendios por ejemplo) es necesario generar un plan de restauración y manejo adecuado a estas condiciones, ya que es la zona más alta de la cuenca y de la que depende en gran medida el mantenimiento del río, por lo cual se requiere de atención especial.

### **Conclusión**

El estudio en la CRM muestra que ésta es un área con una alta riqueza de especies nativas, lo cual nos permite afirmar que esta zona presenta un buen estado de conservación, a pesar de estar inmersas en una de las ciudades con mayor número de habitantes en el mundo.

Este resultado es bastante alentador pues, por su régimen de disturbio se esperaba una mayor aportación de las malezas, introducidas o nativas. Este estudio brinda un diagnóstico general de la gran diversidad biótica y abiótica del área y nos genera una agenda para es una herramienta muy flexible para la integración de información generada para la CRM y para establecer acciones puntuales de restauración y manejo tanto de cada una de las unidades como a nivel de cuenca.

### **Agradecimientos**

Ileana Reyes Ronquillo, Oswaldo Núñez Castillo, Cecilia Castro Gutiérrez por su apoyo en el trabajo de campo y herbario, a Marco Romero Romero por su apoyo en la generación de la base de datos y a Ramiro Cruz Durán por la identificación de especies. PAPIIT IN202210, PAPIME PE204209.

### **Referencias**

Ávila-Akerberg, V., 2002. *La vegetación de la cuenca alta del río Magdalena: Un enfoque florístico, fitosociológico y estructural*. Tesis de Licenciatura Biología. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Ávila-Akerberg, V., *et al.*, 2008. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 2(1), pp. 605-619.
- Ávila-Akerberg, V. y Almeida-Leñero, L., 2009. Autenticidad forestal en el suroeste de la Ciudad de México. Hacia la restauración ecológica de los servicios ambientales. *Revista Forestal Latinoamericana*, 24(1), pp. 31-53.
- Bailey, R.G., 1996. *Ecosystem Geography*. Nueva York: Springer.
- Carrilla, J. y Grau, R., 2011. Tendencias sucesionales de los bosques montanos subtropicales del noroeste argentino. *Bosque*, 32(2), pp. 97-111.
- Castillo-Argüero, S., 2012. Base de datos de la cuenca del río Magdalena. Disponible en CD. Proyecto Papime: Apoyo a la difusión del conocimiento de procesos ecológicos de la CRM (Clave: PE204209).
- CONABIO., 2013. *Listado de malezas de México de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad*. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm>
- ESRI., 1999. *ArcView GIS v3.2*. Software program of Environmental Systems Research Institute, Inc.
- Forman, R.T.T. y Godron, M., 1986. *Landscape Ecology*. Nueva York: John Wiley and Sons.
- Franklin, S.E., 2001. *Remote sensing for sustainable forest management*. Florida: Lewis Publishers/CRC Press. Boca Raton.
- Fuller, J., 1998. Participatory monitoring of forest resources: current methodologies being developed in Thailand. *Rural Development Forestry Network*, 23, pp. 23-27.
- Green, B.H., Simmons, E.A. y Woltjer, I., 1996. *Landscape Conservation: Some steps Towards Developing A New Conservation Dimension*. Reino Unido: IUCN-CESP Landscape Conservation Working Group.
- Hammond, A., *et al.*, 1995. *Environmental Indicators: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development*. Washington, D.C.: World Resources Institute.
- ITC, 2002. *ILWIS v.3.2. Academic*. The Integrated Land & Water Information System. ITC, Enschede.

- Kilpatrick, T., 1985. *Photomonitoring: A framework for monitoring cultural and natural resources*. Santa Cruz, California: Environmental Studies Program. University of California.
- Lapin, M. y Barnes, B.V., 1995. Using the landscape ecosystem approach to assess species and ecosystem diversity. *Conservation Biology*, 9(5), pp. 1148-1158.
- López, R. y Cervantes, J., 2002. Unidades del paisaje para el desarrollo sustentable y manejo de los recursos naturales. *Revista de información y análisis (INEGI)*, 20, pp. 43-49.
- López-Pérez, Y., *et al.*, 2011. Flora del bosque mesófilo de montaña y vegetación adyacente en Avándaro, Valle de Bravo, Estado de México, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 88, pp. 35-53.
- Lugo, A., 2001. El manejo de la biodiversidad en el siglo XXI. *Interciencia*, 26(10), pp. 484-490.
- Margules, C.R. y Redhead, T.D., 1995. *Bio Rap: Rapid Assessment of Biodiversity of Priority Areas Series*. Canberra, Australia: CSIRO, Division of Wildlife and Ecology.
- Martínez-Orea, Y., 2011. *Lluvia y banco de semillas en el bosque templado de la Cuenca del río Magdalena, México, D.F.* Tesis de maestría. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mooney, H.A. y Hobbs, R.J., 2000. *Invasive species in a changing world*. Washington. Island Press.
- Newton, A.C., 2007. *Forest ecology and Conservation: a handbook of techniques*. Oxford. Oxford University Press.
- Noss, R.F., 1983. A regional landscape approach to mountain diversity. *BioScience*, 33, pp. 700-706.
- Palma, A. y Sánchez, A. S., 2005. *La Fotografía Aérea en la Planeación y Manejo de los Recursos Naturales*. México: Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México.
- Pekkarinen, A. y Tuominen, S., 2003. Stratification of a forest area for multisource forest inventory by means of aerial photographs and image segmentation. En: P. Corona, Köhl, M. y Marchetti, M., eds. *Advances in forest inventory for sustainable forest management and biodiversity monitoring*. Dordrecht, The Netherlands: Forestry Sciences-Kluger

- Academic Publishers. pp. 111-123.
- Pollard, F. y Cussans, G.W., 1976. The influence of tillage on the weed flora of four sites sown to successive crops of spring barley. *Crop Prot. Conf. Weeds Proc.* 3, 1019-1028.
- Pysek, P., *et al.*, 2004. Alien plants in checklist and floras: forwards better communications between taxonomist and ecologists. *Taxón*, 53 (1), pp. 131-143.
- Rodríguez, J., 2001. La amenaza de las especies exóticas para la conservación de la biodiversidad suramericana. *Interciencia*, 26 (10), pp. 479-483.
- Rzedowski, J., 1978. *Vegetación de México*. México: Ed. Limusa.
- Sánchez. O., 2003. Biología de la conservación a escala de ecosistemas: algunas bases para el seguimiento de unidades de paisaje. En: O. Sánchez, *et al.*, eds. *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. México: Instituto Nacional de Ecología. pp. 195-236.
- Santibáñez-Andrade, G., 2009. *Composición y estructura de Bosque de Abies religiosa en función de la heterogeneidad ambiental y determinación de su grado de conservación en la cuenca del río Magdalena, México., D.F.* Tesis de maestría. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Velázquez, A. y Bocco, G., 2003. La ecología del paisaje y su potencial para acciones de conservación de ecosistemas templados de montaña. En: O. Sánchez, *et al.*, eds. *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. México: Instituto Nacional de Ecología. pp. 175-193.
- Wolf, P.R. y Dewitt, B.A., 2000. *Elements of photogrammetry with applications in GIS*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Wu, J. y Loucks, O.L., 1995. From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology. *Quarterly Review of Biology*, 70(4), pp. 439-466.
- 

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP  
Av. Progreso No. 5. Col. Barrio de Santa Catarina, Del. Coyoacán, CDMX  
Correo autor de correspondencia: \*[gabysant@ciencias.unam.mx](mailto:gabysant@ciencias.unam.mx)

<sup>2</sup>Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias,



Universidad Nacional Autónoma de México.

## **IV. LA DIMENSIÓN HUMANA EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA**

## CARACTERÍSTICAS HISTÓRICO-CULTURALES, TENENCIA DE LA TIERRA Y POLÍTICAS PÚBLICAS EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

*Alya Ramos Ramos*<sup>1\*</sup>, *Itzkuauhtli Zamora Saenz*<sup>2</sup> y *Lucía Almeida Leñero*<sup>1</sup>

### Introducción

Desde hace más de medio siglo en las ciencias naturales se reconoce la relevancia de contemplar la dimensión humana para la conservación y el manejo de los ecosistemas. Desafortunadamente, en la práctica no se han tomado en cuenta las características sociales de las poblaciones locales, ni para el desarrollo de las actividades productivas ni para el de las estrategias de conservación (Endter-Wada *et al.*, 1998; Hull *et al.*, 2001). En países como México, donde más de 80% de los bosques se encuentran bajo títulos de propiedad ejidales o comunales (White y Martin, 2002) esto se vuelve todavía más importante. En este capítulo se presenta una descripción histórica de las principales actividades, usos de la tierra y el agua y las políticas públicas en la cuenca del río Magdalena y su zona de influencia<sup>3</sup> (Tabla 1). La información que se presenta se obtuvo de fuentes publicadas, archivo histórico y con base en la experiencia de trabajo local, principalmente a través de talleres y entrevistas llevadas a cabo con los diferentes actores sociales. Esta descripción permite tener una primera aproximación de las causas de la dinámica socio-ambiental actual y puede servir como referencia para que futuras estrategias de manejo se desarrollen tomando en consideración las características de la zona.

**Tabla 1**

Tabla 1. Principales usos, dinámica poblacional, títulos de propiedad y esfuerzos de conservación en la cuenca del río Magdalena, comx, a través del tiempo (elaboración propia).

ÉPOCA	Principales usos y actividades económicas	Dinámica poblacional	Propiedad de la tierra	Políticas públicas de conservación
Siglo XXI	Recreación			
Expansión urbana (1970-2000)	Habitacional Recreación	Crecimiento exponencial de la población	Restitución de las tierras comunales con la resolución presidencial de la conformación de bienes comunales a la Magdalena Contreras Atlitic.	Primeros antecedentes del Suelo de Conservación
Industrial	Explotación de los recursos forestales por la fábrica de papel Loreto y Peña Pobre			Veda a la tala en el Distrito Federal (1941) Decreto de Zona de Protección Forestal del río Magdalena
Pos-revolucionaria	Explotación de los recursos forestales por parte de las cooperativas o de las industrias forestales			Restricción de la tala en cuencas hidrológicas urbanas (1926) Acuerdo de creación del Área Natural Protegida Zona Protectora Forestal Cañadón Contreras
Porfiriato	Aprovechamiento de recursos forestales principalmente por las fábricas de papel Las fábricas textiles aprovechan la energía generada por las plantas hidroeléctricas Aprovechamiento local: madera, carbón vegetal, raíz de zacatón, hongos, trementina y plantas medicinales	Cambios de las actividades del sector primario al secundario Creación de asentamientos aledaños a las fábricas	Fin de la propiedad comunal	Propuesta para crear "Bosques Nacionales" en la Ciudad de México
Colonial e independiente	Generación de energía hidroeléctrica y movimiento de maquinaria hidráulica (por medio de batanes y obrajes) Zona de recreo para los habitantes de la ciudad	Desarrollo de las haciendas	La Corona Española otorga títulos de propiedad a Atlitic	
Prehispánica	Recolección de productos forestales, pesca y caza			

## Época prehispánica

La zona estuvo habitada desde la época prehispánica inicialmente por Chichimecas Nahuatlacas, quienes eran cazadores–recolectores. El registro histórico de los pueblos originarios del lugar se remonta al año de 1303 cuando el monarca de Culhuacán permitió que ciertos aztecas expulsados previamente de Azcapotzalco se asentaran en la cuenca del río Magdalena. Los avecindados se organizaron en cuatro pueblos: Atlitic,

Aculco, Ocotepc y Totolapan. En aquel entonces, la principal actividad era la recolecta de productos forestales, también se realizaba la pesca de agua dulce, la cacería y la utilización de los huesos para la fabricación de utensilios domésticos y armas. El río tuvo un alto valor cultural y religioso y en sus alrededores se construyeron centros ceremoniales dedicados al culto de Tláloc (Acosta, 2001).

## **Colonia**

La época colonial tuvo fuertes implicaciones en la zona por diferentes razones. Por un lado, las autoridades coloniales otorgaron códigos y títulos primordiales a las comunidades para salvaguardar los límites y los bienes materiales de los pueblos<sup>4</sup>, por el otro lado se dieron modificaciones en el modo de producción al instalarse batanes y obrajes en los márgenes del río<sup>5</sup>. También se desarrollaron las haciendas de San Nicolás Mipulco (Eslava) y posteriormente en el siglo XVIII, la de la Cañada (La Dolorosa). Durante la época colonial la dotación de tierra no implicaba poseer también el agua, debido a que la Corona española seguía utilizando las leyes medievales en el acceso al agua con el objetivo de favorecer el bienestar de toda la comunidad. En este marco jurídico basado en el código Justiniano, el agua se clasificaba como de uso común y uso privado. Dentro del primer rubro se encontraba el agua de lluvia, la que se utilizaba para beber, pescar y para las actividades referentes a la navegación y el comercio. Se denominaba de uso común porque no podía excluirse a ningún ser humano de ella sin poner en riesgo su vida. Por otra parte, el agua de uso privado era la que se utilizaba para el riego. La relación entre agua y tierra no era sencilla, podía obtenerse una dotación de tierra sin tener una de agua; la clave era el tipo de propiedad de la tierra que establecían las autoridades: las tierras de regadío (“pan llevar”) usualmente implicaban derechos sobre el agua, mientras que las de temporal (“pan coger”) o las que se desconocía el régimen de lluvias (“pan sembrar”) no la tenían (Meyer, 1984).

Los documentos coloniales sobre el río Magdalena demuestran que los derechos de agua fueron resultado de un repartimiento, el cual fue precedido por la primera medición documentada sobre el cauce realizada el 27 de marzo de 1635 por don Juan Canseco, oidor de la Real Audiencia

de la Nueva España.<sup>6</sup> Esa fecha y la primera actualización del repartimiento, llevada a cabo por don Baltasar Ladrón de Guevara en 1789, serían la base para el aprovechamiento del río por parte de diferentes usuarios durante toda la Colonia, incluso para los reglamentos que se elaboraron en la primera mitad del siglo XX.

El repartimiento colonial diseñado por Canseco respetó las reglas institucionales de la época, como eran lograr una distribución equitativa entre todos los vecinos y proteger a las poblaciones indígenas para que fueran tratadas de manera justa en el acceso al agua. El reglamento fue atípico para la época, ya que a diferencia de los demás, estableció con mucha puntualidad las cantidades de agua para dividirse. Es altamente probable que esta característica fuera resultado de la cercanía del río con la capital virreinal (lo que sugiere mercedes a usuarios de mucha influencia política) y a que, tal y como quedó señalado en su primera medición, el río Magdalena tenía un gasto poco abundante durante el estiaje, lo que aumentaba los conflictos sociales entre los diferentes usuarios. El repartimiento de Canseco prohibía la venta de agua o el traspaso de derechos de agua entre particulares, por lo que cualquier dotación o cambio en la distribución del agua era una atribución exclusiva de la autoridad virreinal.

El uso primordial del agua del río Magdalena en la época colonial fue para el riego agrícola. Los principales usuarios del sistema eran 15 pueblos y barrios indígenas, 21 haciendas y huertas, cuatro propiedades del clero y una protoindustria (Zamora, 2013). Si bien es cierto que la mayor cantidad de agua se destinaba para las haciendas y las huertas, ésta tenía que repartirse entre un mayor número de usuarios y entre terrenos de cultivo de gran extensión, por lo que este tipo de usuarios se organizó a partir de tandas de suministro.

Como el repartimiento tenía un estatuto legal, existía un esquema de sanciones para todos los usuarios que no lo cumplieran, el cual estaba organizado bajo el principio de castas. De esta manera, las sanciones por excederse en el uso de agua y/o por tapan las tomas o modificarlas para aprovechar el agua de otros usuarios, estipulaban azotes físicos para los indígenas, cárcel para “los sirvientes de color quebrado” y destierros o multas económicas si los infractores eran españoles. A pesar de que las

sanciones a los indígenas eran más violentas, no se les quitaba la posesión del agua a las comunidades, ya que sus derechos estaban garantizados y protegidos por la Corona española, no sólo por el repartimiento, sino también por contar con los códigos y títulos primordiales, documentos que mostraban su legítima posesión de tierras desde tiempos “inmemoriales”.

Los derechos del agua otorgados por la Corona española no eran definitivos, su jurisprudencia contemplaba que un repartimiento podía haber cometido una injusticia en el pasado, lo cual podía solucionarse con una nueva distribución. Otra posible causa para modificar el repartimiento era el surgimiento de conflictos sociales entre los usuarios. La autoridad virreinal escuchaba a las partes involucradas y designaba una nueva distribución bajo los criterios de uso previo, derecho legal, necesidad, equidad, intención (¿por qué solicita más agua un usuario?), bien común, evitar daños a terceros y legitimidad de los derechos (Meyer, 1984).

Todo este entramado jurídico se puso en marcha para solucionar el primer conflicto por el agua documentado en el río Magdalena, protagonizado por el convento de religiosos de carmelitas de San Ángel y el señor Martín de San Juan Berrueto, quienes se pelearon para aprovechar una mayor cantidad de agua.<sup>7</sup> Resultado de este conflicto fue la elaboración del segundo repartimiento del río Magdalena realizado por el oidor decano en la Real Audiencia, don Baltasar Ladrón de Guevara el 22 de enero de 1789.

El diagnóstico del oidor fue que el conflicto había surgido porque el río había disminuido su caudal debido a que se habían secado algunos ojos de agua que alimentaban el cauce; por esta razón Ladrón de Guevara tomó la decisión de disminuir de manera equitativa la dotación de cada usuario para adecuarse al “nuevo” gasto del río. A pesar de que en el sistema de usuarios del río Magdalena se incluyeron a la hacienda de la Cañada y al obraje de Panzacola, éste pasó de 40 usuarios en la época de Canseco a 31 en este nuevo repartimiento: 11 pueblos y barrios indígenas, 15 haciendas, dos propiedades del clero y tres protoindustrias. La disminución de usuarios puede interpretarse como el resultado de un proceso continuo de concentración de la tierra, en donde las haciendas más productivas y poderosas fueron comprando huertos o terrenos de otras haciendas. Por otro lado, la disminución en el número de pueblos indígenas se explica por

su incorporación a las actividades económicas de las haciendas y porque sus tierras fueron adquiridas o usurpadas por los terratenientes.

### **México independiente**

A principios del S. XIX la cuenca del río Magdalena y su zona de influencia formaban parte del municipio de San Ángel, los pueblos que lo conformaban eran principalmente agrarios. Las haciendas molinos y ranchos contrataban a la población carente de tierra como jornaleros (Camarena Ocampo, 1996). Este tipo de producción permitió que la zona abasteciera a los habitantes de la ciudad de alimentos básicos, como maíz, frijol, cebada y frutas características de climas fríos, como tejocotes, manzanas, peras, aguacates, higos, castañas, cerezas, ciruelas y frambuesas. También, la población producía flores como gladiolas, claveles, tulipanes, iris, azucenas y rosas (Camarena Ocampo, 1996; Garcia-Cubas, 1993).

Sobre los restos de la protoindustria del siglo XVIII, se comenzaron a instalar capitales extranjeros a partir de 1840, con el objetivo de impulsar una industria textilera en la periferia de la ciudad. Esta inversión modernizó los procesos productivos de las fábricas al importar tecnología de punta. Estos nuevos empresarios lograron asegurar un ciclo productivo mediante la compra de ranchos que proveían las materias primas, la renovación de las fábricas para la producción de tejidos y el establecimiento de cajones de ropa en la Ciudad de México para la comercialización de su mercancía (Trujillo Bolio, 2000).

De manera paralela al desarrollo de las fábricas, la demanda de madera y carbón para uso doméstico de la ciudad derivó en un aumento de la explotación de los bosques de la región. El progreso de esta actividad se vio favorecida con la llegada del ferrocarril a la zona en el año de 1867. El transporte se aceleró, se redujeron los precios de las materias primas y se abrieron nuevos mercados, además, se requirieron materiales para producir energía, construir estaciones y fabricar durmientes para las vías férreas. (Vitz, 2012). Por otro lado, también ayudó a impulsar una mayor comercialización de los productos agrícolas de la zona hacia la ciudad (Camarena Ocampo, 1996; Vitz, 2012). Los pobladores locales obtenían de los bosques, madera para la carpintería, raíz de zacatón (usada para fabricar canastas, escobas y forraje), hongos, trementina (resina de los



árboles) y plantas medicinales. También elaboraban carbón vegetal por medio de la recolecta de leña, que posteriormente ardía en un hoyo de manera muy lenta hasta que se carbonizaba. Esta producción estaba dirigida al autoconsumo o a la venta en los mercados locales (Vitz, 2012).

El marco jurídico para el aprovechamiento del agua durante los primeros tres cuartos del siglo XIX básicamente fue el mismo que rigió durante la Colonia, es decir, en materia de agua no hubo una gran transformación en los códigos del México independiente (Meyer, 1984). En gran medida esto se puede comprender debido a la gran inestabilidad política que caracterizaron aquellos años.

### **Porfiriato**

La municipalidad de San Ángel se convirtió en el centro manufacturero más importante de la Ciudad de México a finales del siglo XIX. La dictadura porfirista fue clave para el desarrollo de esta industria, porque garantizó la existencia de un Estado fuerte que permitió una mayor estabilidad política en comparación a las décadas anteriores, lo que daba una mayor garantía a la inversión de mediano y largo plazos. Además de este factor, el final del siglo XIX se caracterizó por un proceso de modernización productiva gracias a la incorporación de la producción en serie y de materiales más resistentes como el fierro. Una tercera causa que explica el auge de la industria fue la organización empresarial en sociedades anónimas de corte familiar que permitieron una mayor concentración de capital (Camarena Ocampo y Trujillo Bolio, 2003).

En la tabla 2 se puede observar que para 1895 se encontraban instaladas cinco fábricas de textiles que aprovechaban las aguas del río Magdalena. La organización empresarial más poderosa en la región era la Meyran Donnadieu y Compañía, con dos fábricas a orillas del Magdalena. Gran parte de su éxito se explica porque lograron incorporar rápidamente innovaciones tecnológicas para modernizar sus procesos productivos. Además, también eran propietarios de otra fábrica en Tlalnepantla (río Hondo) y del cajón de ropa “La Francia Marítima”, ubicado en el centro de la Ciudad de México. Con el paso del tiempo, esta empresa adquirió los ranchos de Anzaldo y Contreras, así como cinco predios en el pueblo de Magdalena conocidos como Sasachalpa y La Estación.

**Tabla 2**

Tabla 2. Fábricas en la cuenca del río Magdalena, COMX, a finales del siglo XIX (elaboración propia con base en documentos del AHA).

Fábrica	Textil	Organización empresarial	Nacionalidad de los dueños
La Magdalena	Algodón	MeyranDonnadieu y Compañía Sociedad Colectiva	Francesa
Santa Teresa	Lana	MeyranDonnadieu y Compañía Sociedad Colectiva	Francesa
El Águila	Lana	I.R Cerdeña y Compañía y Sucesores	*Se desconoce
La Hormiga	Algodón	Robert y Compañía	Francesa
La Abeja (después Compañía industrial Puente de Sierra)	Hilados y bonetería	J.Dachary y Compañía	Francesa

\* La fábrica de la Hormiga tenía dos plantas, una conocida con el mismo nombre, que se especializaba en telas de algodón y otra denominada La Alpina, que fabricaba tejidos de lana.

Aunado a estas empresas textiles hay que agregar la presencia de la fábrica de papel Loreto, la cual fue adquirida en 1906 por el empresario alemán Alberto Lenz, quien la volvió a convertir en fábrica papelera después de que en las dos décadas anteriores había producido hilados y tejidos.

La presencia de las fábricas en la zona originó cambios tanto en las formas de producción, como en la dinámica poblacional. Gran parte de la población local se empleó en éstas debido a que el ingreso que se percibía era mayor que el de un peón (Acosta, 2001; Ramos, 2008). Además, con la instalación de las fábricas y el crecimiento de la producción se dio un proceso de inmigración de trabajadores, que incluía niños y mujeres de diferentes estados, principalmente de Puebla, Tlaxcala y el Estado de México, lo que trajo como consecuencia que la población aumentara y se diversificara. En 1854 la población del municipio de San Ángel era de 4 383 habitantes, prácticamente todos originarios de los pueblos del municipio. En 1880 la población alcanzó los 10 082 habitantes y para 1910 llegó a los 16 734 (Camarena Ocampo, 1996).

Las fábricas también fueron un detonante para que el agua nuevamente fuera un elemento en disputa, debido a que con su instalación se hicieron modificaciones al curso del río. Éstas aprovecharon zanjas como depósitos de agua para mover los motores hidráulicos, lo que permitió la generación de energía para las máquinas de las fábricas, principalmente de la Magdalena. Sin embargo, que el caudal del río fuera

poco abundante en época de secas, provocaba que en ocasiones no hubiera presión suficiente del agua para echar a andar las maquinarias, esto provocó el acaparamiento del recurso por parte de las fábricas. En un principio los lugareños lograron imponerles sus condiciones a través de una concesión sobre aprovechamiento de las aguas del río, en donde se estableció que éstas tenían que pagar un tributo a los pueblos por su uso, y en donde se especificaba que nadie podía usar mayor volumen del agua o modificar el cauce del río. Sin embargo, los empresarios consideraban que los pueblos no tenían derecho sobre el agua; de hecho, se negaron a cubrir las cuotas estipuladas en el convenio de concesión y acapararon el recurso, debido a su ubicación impidieron el paso del agua a los pueblos, esto a pesar de que el municipio multaba a aquellas fábricas que impedían el libre correr del agua al almacenarla. El acaparamiento por parte de las fábricas mermó la producción agrícola de los pueblos y las haciendas, lo que generó innumerables quejas contra los industriales; los lugareños argumentaban que el agua les pertenecía desde tiempos inmemorables y que disfrutaban de varias tomas de agua en el río para el abasto de sus tierras. A pesar de la cantidad de quejas interpuestas, las fábricas se fueron apropiando de una mayor cantidad de agua con el paso del tiempo. Además del acaparamiento, las fábricas también generaban problemas de contaminación, de hecho, las enfermedades gástricas entre la población eran atribuidas en gran parte a la contaminación del agua (Camarena Ocampo, 1996).

El gobierno buscó la manera de remediar el acaparamiento del agua. La intervención gubernamental comenzó a partir de la *Ley General de vías de la Comunicación* expedida el 5 de junio de 1888 con Porfirio Díaz (Aboites, 1998). Con esta ley, los mares territoriales, esteros, lagunas, ríos navegables y canales construidos con fondos gubernamentales se consideraron vías generales de comunicación de propiedad federal. A pesar de que el río Magdalena no era navegable fue incluido en esta declaratoria, lo cual sugiere la verdadera intención que tenía el gobierno para recuperar las facultades de control y reglamentación sobre cualquier cuerpo de agua que tuviera importancia para el riego o para la generación de energía.

Paralelo a este control gubernamental, la política de Porfirio Díaz

estuvo muy interesada en aprovechar la innovación técnica de la época que favoreció obras hidráulicas, en especial para la generación de energía eléctrica. El gobierno no podía quedar marginado de este proceso, de manera que creó la reglamentación necesaria para monopolizar las concesiones referentes a la construcción de estas obras que rápidamente se convirtieron en una nueva fuente de ingresos económicos para el presupuesto federal. En 1897 se concedió al señor Ángeles Sánchez y su compañía 800l/s del río Magdalena y en 1907, se decidieron entubar algunos brazos del río para generar mayor energía. A partir de entonces se construyeron diversas plantas eléctricas para las fábricas de la región (Camarena Ocampo, 1996).

En 1907 se expidió un nuevo reglamento para determinar la distribución del agua del río Magdalena. A pesar de los estudios técnicos que precedieron al reglamento, éste no hizo una verdadera actualización del padrón de usuarios, ya que se basó en el repartimiento del oidor Ladrón de Guevara, apelando a una jurisprudencia que otorga preferencia a los usos antiguos. Los usuarios se clasificaron a partir de 10 tomas de derivación y según este reglamento consistían en 12 haciendas, ocho pueblos, cinco fábricas y tres propiedades de la Iglesia (Zamora, 2013).<sup>8</sup> Este reglamento obligó a los usuarios a organizarse en una Junta directiva conformada por un presidente, un secretario, tres vocales y un tesorero designados por todos los usuarios del río. La tarea principal de la Junta consistió en vigilar el correcto funcionamiento de la distribución mediante la contratación de personal operativo que vigilaba las compuertas de las tomas de derivación. Durante los primeros años de la Junta hasta la conclusión de la gesta revolucionaria en 1917, la mesa directiva estuvo acaparada por los dueños de las fábricas y las grandes haciendas, lo que favoreció una mayor apropiación del volumen del cauce por parte de estos usuarios. La consecuencia fue que la producción agrícola de la región tanto de los pueblos como de los pequeños productores, quedara limitada a cultivos de temporal, como maíz y cebada.

Las políticas relacionadas con el bosque de finales del siglo XIX y principios del XX estuvieron relacionadas con el aumento de la explotación forestal en la Ciudad de México. Por un lado la Junta Central de Bosques de esta ciudad, encabezada por Miguel Ángel de Quevedo,

propuso que se crearan “bosques nacionales” en el Distrito Federal, con objetivos de higiene (salud pública) y recreación para la población de la ciudad; esta propuesta incluía a los bosques de la Magdalena (Vitz, 2012). A partir de entonces, la zona también se volvió un importante centro de recreo (Acosta, 2001). Por otro lado, Quevedo y su grupo buscaban fomentar el uso racional de los bosques a través de la condena de todo tipo de deforestación irracional, ya fuera realizada por campesinos, hacendados o compañías madereras. Sin embargo, creían que los grupos de élite tenían una mayor capacidad para manejar los bosques, lo que permitiría un mayor progreso para el país. Estas ideas propiciaron que los bosques de la Magdalena continuaran siendo aprovechados por las fábricas, y continuaran marginando a los campesinos del manejo de sus tierras (Vitz, 2012).

### **Políticas ambientales y agrarias en el México posrevolucionario y moderno**

La Constitución de 1917, por medio del Artículo 27, concedió a los campesinos nuevos derechos de posesión y uso de los recursos naturales; sin embargo, su aplicación en la Cuenca de México se vio influenciada por las políticas promovidas por Quevedo años atrás, por lo que las actividades productivas en la zona fueron restringidas (Vitz, 2012). En el mismo artículo 27 se estableció que el agua era propiedad de la Nación y que el Gobierno Federal era la única instancia habilitada para otorgar los derechos de uso. El poder federal fue muy enfático en señalar que las tareas de policía, vigilancia y reglamentación eran atribuciones exclusivas del Estado por las que debía cobrar cuotas anuales para llevarlas a cabo. El interés de participar en el manejo del agua por parte de los gobiernos posrevolucionarios no era muy diferente al de la etapa porfirista, sólo que ahora se legitimaba su intervención a partir de acabar con la injusticia social que había negado su acceso a las comunidades campesinas (Aboites, 1998).

El reparto posrevolucionario de la tierra y el agua fue responsabilidad del Departamento Agrario, la Comisión Nacional de Irrigación y después de la Secretaría de Agricultura y Fomento (SAyF). Esta campaña de reivindicación social tuvo efecto en el río Magdalena mediante un decreto de Álvaro Obregón expedido en 1924 y en el que se suprimía la dotación

de agua que se otorgaba a la Hacienda de la Cañada para transferirla al recién creado ejido de La Magdalena Contreras y al pueblo de San Jerónimo Aculco. En la práctica, la hacienda nunca dejó de aprovechar el agua del río mediante sangraderas<sup>9</sup> en el cauce principal y tubos fraudulentos en las cajas de derivación.

En las primeras décadas del gobierno posrevolucionario se promulgaron leyes en las que el poder central se adjudicaba el derecho de organizar a las “asociaciones de usuarios” que aprovechaban una misma fuente de agua. En el caso del río Magdalena desde 1907 se había constituido una Junta de vigilancia, sólo que ésta satisfacía los intereses de los usuarios poderosos como industriales y terratenientes, más que buscar el bien común de todos los involucrados. Las mesas directivas de la época posrevolucionario respiraban el aire de justicia social de la época y dentro de sus acciones se destacaban la denuncia de tomas clandestinas de ranchos y haciendas y las acciones dirigidas a aumentar la dotación de pueblos. Con la nueva ley de aguas de 1929, la Junta de vigilancia del río Magdalena se trasladó a la entonces delegación de San Ángel. Esta Junta es una de las primeras en todo el país, ya que en general se regularizaron hasta el año de 1934 con el artículo 219 del “Reglamento de la ley de aguas de propiedad nacional”. Fue hasta esa ley que a esas organizaciones de usuarios se les conoció formalmente como “Junta de Aguas”.

La Junta de Aguas del río Magdalena funcionó aproximadamente cinco décadas. Los primeros años de funcionamiento (1930-1942) correspondieron a un periodo de instalación y aprendizaje de las obligaciones que tenían por ley como era la recolección de cuotas por el aprovechamiento de agua, así como la vigilancia de que la distribución se apegara a lo establecido por el reglamento del río. En sus inicios, la mesa directiva de la junta tuvo un acompañamiento puntual de los ingenieros de la SAyF para conocer sus atribuciones y llevarlas a cabo. No fue sencillo controlar el almacenamiento ilegal y la contaminación del agua por parte de las fábricas, como tampoco lo fue recolectar las cuotas de los usuarios.<sup>10</sup> Para 1932 el reglamento del río Magdalena reconocía a 21 usuarios que aprovechaban el agua a partir de 18 tomas: seis pueblos, seis haciendas, cinco fábricas, tres usuarios difusos (terrenos particulares de Ayotla, ayuntamiento de Coyoacán y mercedados de Coyoacán) y una

entidad de gobierno como era los Viveros de la Dirección Forestal, hoy conocidos como Viveros de Coyoacán (Zamora, 2013). La única población que se abastecía de agua potable proveniente del río era el pueblo de Magdalena, el resto de población asentada en la región lo hacían mediante agua entubada de otras fuentes, particularmente de pozos.

La Junta de aguas sesionaba una vez al mes para cumplir con sus obligaciones legales como eran resolver los conflictos por la distribución de las aguas, ejecutar las obras de reparación y conservación de los canales, formular los presupuestos generales tanto para la construcción de las obras, como para el funcionamiento de la Junta, informar a la SAyF sobre la gestión administrativa y facilitar todas las inspecciones oficiales.

En los estudios que realizaban los ingenieros sobre el río Magdalena se destacaba el avance de la urbanización en la parte baja del río debido a la desaparición de haciendas y la venta de lotes para el desarrollo de nuevas colonias. Por ejemplo, la huerta del Carmen se había transformado en la colonia del Carmen y la hacienda Guadalupe se había fraccionado para dar paso a las colonias conocidas como “Guadalupe Inn” y “Agrícola de Guadalupe”. El panorama era muy diferente en la parte alta en donde existían aproximadamente 576 predios que utilizaban el agua del río para regar sembradíos. La conformación de las mesas directivas posteriores a 1936 refleja la manera en que los usuarios de actividades agrícolas eran los más interesados en el funcionamiento de la Junta. Después de que el pueblo de San Ángel había sido la residencia de la Junta durante sus primeras tres décadas de existencia, esta se trasladó en 1937 a la parte alta cuando la presidencia recayó en los representantes de los pueblos de San Nicolás Totolapan y de La Magdalena Contreras. En esta época los representantes de la Junta mencionaban que los reglamentos vigentes eran rápidamente superados por la urbanización de la parte baja, lo que representaba una merma significativa de los ingresos económicos para su funcionamiento, ya que usuarios reconocidos como Chimalistac y Axotla ya recibían agua entubada de otras fuentes por lo que se negaban a pagar sus cuotas correspondientes.

A mediados de 1940, la Junta de Aguas del río Magdalena estaba conformada por los usuarios industriales, representantes de haciendas, ranchos y por nueve juntas locales como eran el pueblo de la Magdalena,

el pueblo de San Jerónimo, el ejido de San Nicolás Totolapan, el ejido de la Magdalena, la parte alta de Tizapán, los usuarios de Axotla, la parte baja de Tizapán, el Campamento y la Otra Banda (Zamora, 2013). Cada junta local tenía problemas para recolectar las cuotas de sus miembros y para repartir el agua, incluso carecían de un padrón de usuarios debidamente requisitados, por lo que solían cobrar las cuotas de manera discrecional. Cuando en la década de 1950 finalmente la Junta general y las locales habían madurado en sus trámites administrativos y tenían un mejor desempeño en el cumplimiento de sus obligaciones, empezaron a perder usuarios de manera acelerada debido al crecimiento urbano, lo que convirtió a la Junta en una entidad burocrática con muy poca incidencia en la gestión del río.

En lo que se refiere a la política forestal, ésta comenzó durante el gobierno de Victoriano Huerta en 1913, ya que el gobierno, al sentirse amenazado por el ejército zapatista, “relajó” los reglamentos porfirianos para pacificar a los campesinos de la zona. Cabe señalar que para ese entonces eran pocos los que vivían exclusivamente del bosque y quienes extraían productos forestales lo hacían sólo como una actividad secundaria. Sin embargo, en 1926 Plutarco Elías Calles aprobó la primera Ley Forestal del país, en la que se restringía la tala en cuencas hidrográficas urbanas, se promovía la reforestación y el establecimiento de reservas y se ordenaba la creación de cooperativas ejidales forestales para regular el uso de los montes. El gobierno buscó usar las cooperativas para educar a los campesinos, dirigir la explotación de los bosques y liberarlos de los acaparadores (Vitz, 2012).

Entre las primeras cooperativas que se organizaron en el Distrito Federal estuvo la de La Magdalena Contreras. Ésta enfrentó diversos problemas a lo largo de toda la cadena productiva, desde la producción misma, hasta el punto de venta en el ferrocarril. No contaban con medios de transporte propios, así que los campesinos dependían de agentes externos para la comercialización de sus productos. Éstos establecían precios muy elevados, lo que casi llevó a la cooperativa a la quiebra. En la medida en que las cooperativas pugnaron por vencer a los acaparadores en el punto de venta, empezaron a controlar el comercio forestal dentro de sus comunidades, establecieron sus propios sistemas de vigilancia y castigaron



las actividades independientes a la organización, aunque esto, por supuesto, no significó que los grupos clandestinos desaparecieran por completo. En contraste, existían quienes consideraban que los bosques del Distrito Federal debían ser usados para beneficiar a la ciudad, en vez de ser sólo usufructo de los campesinos (Vitz, 2012).

Este discurso se expandió hacia distintos grupos sociales que no apoyaban a las cooperativas y el uso productivo de los bosques. Por ejemplo, 24 obreros de la zona de la Magdalena censuraron y pidieron el cese de la “tala despiadada” de las zonas permitidas para el uso de las cooperativas. Ellos temían el agotamiento de los recursos hídricos necesarios, tanto para sus comunidades como para las fábricas. También había quienes veían a los bosques como una parte integral del sistema hidrológico o un sitio de recreación, y que tendían a criticar a las cooperativas y a culparlas por el deterioro ambiental. Se asumía que una de las causas de la reducción de los bosques era la producción de carbón vegetal, por lo que proponían cada vez más el uso del petróleo como sustituto, lo que trajo como consecuencia que se castigara a la industria campesina, a la vez que se ignoraron otras fuentes de explotación forestal. En comparación con lo que ocurría en otros estados de la República, donde la producción de carbón vegetal era una base fundamental de la economía, en el Distrito Federal se producía poco y una parte importante del carbón se hacía con madera muerta (Vitz, 2012).

Con la expansión de este discurso, sumado al surgimiento de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) en el país, en 1932 se catalogó, por acuerdo presidencial, el área correspondiente con los límites naturales de la cuenca como un ANP con la categoría de Zona Protectora Forestal (ZPF) Cañada de Contreras, con una extensión de 3 100 ha (DOF, 1932). Las ZPF se establecían por el poder ejecutivo en terrenos con vegetación forestal y en ellas, según su decreto de creación, se restringían, condicionaban o prohibían algunas actividades de manejo y uso de los recursos naturales forestales, aunque se podían conservar los títulos de propiedad comunal o ejidal (Fernández-Eguiarte, 2002). Su objetivo general era la conservación, la protección y la restauración de los suelos, cuencas hidrográficas, la conservación de la vegetación forestal y la fauna silvestre; así como la protección de infraestructura y el mejoramiento ambiental de los

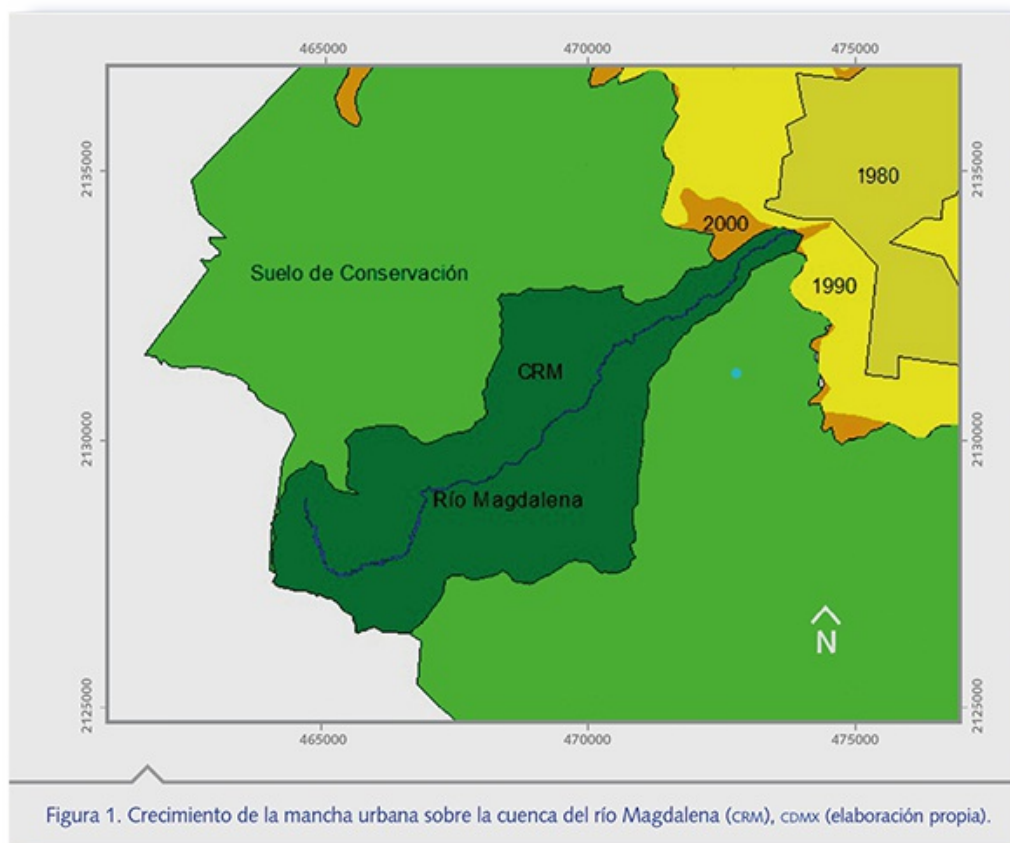
asentamientos humanos (Fernández-Eguiarte *et al.*, 2002).

A partir de la década de 1940, durante la gestión de Manuel Ávila Camacho, se estableció una economía basada en la industrialización. Las ideas de los conservacionistas persistían y coincidían con las de un sector de funcionarios del gobierno que veía en la industria petrolera una forma de modernizar los recursos energéticos y eliminar el uso del carbón vegetal. En 1941, Ávila Camacho estableció una veda a la tala en el Distrito Federal; sin embargo, de manera paralela, la política industrial incluía el desarrollo de la industria papelera. Posteriormente, la fábrica de papel Loreto y Peña Pobre fue favorecida por las políticas de Miguel Alemán, quien consideraba los bosques mexicanos como un recurso industrial para la modernización de la economía (Vitz, 2012). En 1947, con la idea de que las comunidades no podían mantener los bosques con el mismo estándar que las papeleras, se creó la Unidad Industrial de Explotación Forestal para la Fábrica de Papel Loreto y Peña Pobre, y se declaró como Zona de Protección Forestal del río Magdalena a una faja de 12 kilómetros de longitud desde el nacimiento del río y aguas abajo, y una anchura de 500 metros a cada lado del cauce (DOF, 1947), concesión que duró hasta 1981.

### **Transformación del paisaje urbano hacia finales del siglo XX**

A partir de la década de 1960 comenzó a transformarse el paisaje urbano debido al cierre de las fábricas de la región y al avance de la urbanización en la parte alta. La industria textilera empezó a cerrar debido a su baja productividad y a sus problemas legales con los sindicatos de los trabajadores: la fábrica de Santa Teresa había cedido la posesión al sindicato por falta de solvencia económica para el pago de salarios, mientras que La Hormiga dejó de funcionar desde 1963 por un problema contractual con los trabajadores. El avance de la urbanización en la parte alta se incrementó gracias a la construcción del segundo tramo del anillo periférico (Cuadros, 2001). En la década de 1970 muchos habitantes que aun tenían una parcela para la agricultura se asentaron en ellas con la finalidad de “cuidar” sus cultivos. Además, surgieron líderes que vendían tierras a precios muy bajos tanto los pobladores locales como a personas ajenas. Los momentos más importantes de ocupación de predios para uso (Fig. 1). habitacional se dieron en 1980, 1983, 1988 y 1990 (Fernández-

Eguiarte *et al.*, 2002) Este fenómeno ocurrió a pesar de que, de manera paralela, a principios de la década de 1980, el Plan de Desarrollo Urbano del Distrito Federal estableció una zonificación del territorio, dividiéndolo en dos tipos distintos de áreas: la urbana y la no urbana, esta última reclasificada y conocida actualmente como Suelo de Conservación del D.F. (Aguilar, 2008).



**Figura 1**

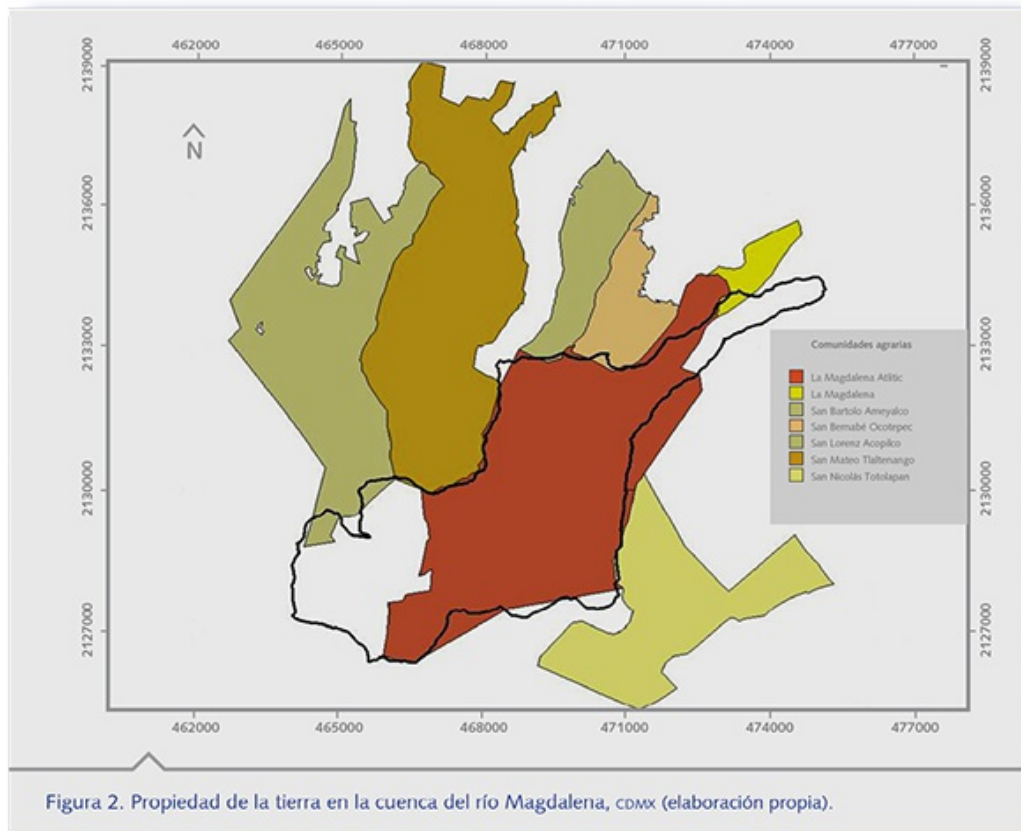
El cambio en el sector económico preponderante y el crecimiento urbano tuvo una repercusión importante en la administración y distribución del agua. El cierre de las fábricas constituyó un duro golpe a las finanzas de la Junta de Aguas que tenía en este tipo de usuarios a sus principales contribuyentes. Tan sólo el cierre de La Hormiga representó una disminución de 50% de los ingresos que tenía la Junta en aquella época, por lo que comenzó una etapa de escasez presupuestaria que terminaría con su desaparición a principios de los años ochenta.

La distribución del agua se vio afectada por los nuevos vecinos que tapaban los canales de riego argumentando que el azolvamiento del río les requería gastos de limpieza muy frecuentes e innecesarios tomando en

cuenta que ya no se dedicaban a la agricultura, las inundaciones que provocaban en la época de lluvias y, especialmente, a que consideraban más útil destinar el agua para el uso doméstico. Este reclamo tuvo eco en las autoridades capitalinas que consideraban más importante aprovechar el agua del río como una fuente complementaria para el abasto de agua potable del sur poniente del Distrito Federal ante el crecimiento acelerado de poblaciones como San Jerónimo Lídice, Contreras, San Ángel, San Nicolás Totolapan, Tizapán, El Batán, Otra Banda, Puente Sierra y Providencia.<sup>11</sup> Acorde con el Plan hidráulico realizado por la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, el cual establecía que las fuentes superficiales de la Ciudad tendría como prioridad el agua para uso doméstico sobre la de riego, se construyó una planta potabilizadora a mediados de los años sesenta del siglo pasado para aprovechar 200 litros por segundo del agua del río Magdalena. Esta planta constituye hoy en día una fuente importante para el abastecimiento de agua potable de la Delegación La Magdalena Contreras.

### **Restitución de bienes comunales**

A pesar de que en la Cuenca de México los derechos de posesión se vieron restringidos bajo las ideas conservacionistas y de desarrollo privado, durante el reparto agrario fueron restituidos y/o dotados de tierras los pueblos de la región en las zonas que aún no estaban urbanizadas. Es así como en 1975 se dio la Resolución Presidencial de Confirmación de Bienes Comunales a la comunidad Magdalena Contreras, con la restitución de 2 393 ha. que corresponden al 77% de la cuenca del río Magdalena. En este documento se reconocen los derechos dados a Atlitic durante la Colonia sobre su territorio y sus recursos. El resto de la cuenca, aunque en pequeñas proporciones, son propiedad de las comunidades agrarias de San Bartolo Ameyalco, San Nicolas Totolapan, San Bernabé Ocoatepec, San Lorenzo Acopilco y el ejido de La Magdalena Contreras (Fig. 2). El paraje conocido como La Cañada (de 111.8 ha.) es propiedad de una constructora, aunque actualmente se está gestionando su cesión al Gobierno del Distrito Federal. Esta propiedad privada puede explicarse debido al interés en la zona para uso habitacional.



**Figura 2**

A pesar de que la dotación de tierras a nivel nacional tenía el objetivo de impulsar el desarrollo económico de las comunidades agrarias, las transformaciones económicas sufridas desde la época Independiente y acentuadas durante el siglo XX en la región, provocaron que para este momento los lugareños se emplearan en actividades del sector terciario tanto de la zona como del resto de la ciudad; esto último debido en gran medida a las nuevas vías de comunicación. Esta transformación se ve reflejada en la superficie destinada a la agricultura que actualmente es de sólo 48 km<sup>2</sup>, en la que participan muy pocas personas y es prácticamente para autoconsumo (Instituto de Geografía-UNAM, 2008)

La restitución del territorio y la conformación del padrón de comuneros están relacionadas con este cambio de las actividades productivas y con el desarrollo urbano en la zona y la consecuente demanda de tierras para uso habitacional (Ramos, 2008). Muchas de las personas que fueron censadas como comuneros, en realidad tenían el interés de obtener una parcela para la vivienda. Esto provocó que al realizar el censo comunal se excluyeran a habitantes nacidos en la zona y se incluyeran a gente externa, tanto del resto del Distrito Federal, como de

otros estados de la República.

De acuerdo con el censo de 1975, registrado ante el Registro Agrario Nacional (RAN), la comunidad Magdalena Contreras está conformada por 1 779 comuneros, En teoría, la comunidad se reúne el primer domingo de cada mes y conforma la Asamblea, que es la máxima autoridad de la comunidad para la toma de decisiones. La toma de decisiones se da en la asamblea, mediante 50% más uno de los votos de los comuneros. Estas decisiones incluyen la elección de los representantes comunales y del comité de vigilancia, ambas instancias conformadas por un presidente, un secretario y un tesorero. Estas elecciones se llevan a cabo cada tres años (Ramos, 2008).

En la práctica el máximo número de comuneros que se reúne actualmente es de 800 cuando hay votaciones para elegir representantes; pero de manera regular lo hacen aproximadamente 250 personas (Ramos, 2008). Esto podría deberse a que el censo no se ha actualizado, por lo que muchos de los comuneros podrían ya haber fallecido o no residir en la zona. Además, la comunidad no ha tenido representantes comunales ni reuniones en asamblea de manera constante y la inclusión de gente externa al momento de la dotación podría ser un factor que influya en la baja participación.

### **La cuenca del río Magdalena como centro de recreación y conservación**

Las transformaciones en las actividades productivas, sumadas a las restricciones en el uso del bosque han provocado que las actividades en el área natural estén centradas en las actividades recreativas. Actualmente, estos bosques representan un centro de recreación para la población de la ciudad, promoviendo el desarrollo de actividades económicas, tanto para los comuneros de la Magdalena Atlitica como para el resto de la población local. Entre semana, la zona funciona para que los habitantes de los alrededores realicen actividades deportivas principalmente en la zona de La Cañada. Los fines de semana, la afluencia de visitantes es mucho mayor e incluye a personas que acuden de lugares más alejados, que buscan realizar deportes extremos actividades recreativas. Además, la zona tiene importancia espiritual y religiosa, pues funciona como paso hacia el Estado de México durante la peregrinación a Chalma en Semana

Santa, como centro de reunión para grupos religiosos y para realizar purificaciones conocidas como “limpias”.

Los principales puntos de concentración para estas actividades son los parajes conocidos como La Cañada, donde se han establecido puestos de comida, renta de caballos, circuitos de motonetas, entre otros; el Segundo Dinamo, donde existen comercios de alimentos establecidos, y el Cuarto Dinamo, donde también se presentan este tipo de comercios, aunque en menor medida. Todos ellos están organizados en una asociación de comerciantes y cuentan con un representante de manera independiente y paralela a la Asamblea comunal (Ramos, 2008). Además, existen pequeños grupos dedicados al turismo de aventura y/o de educación ambiental, que están conformados principalmente por comuneros e hijos de comuneros.

Asociadas a estas actividades se realizan otras como el cultivo de trucha, la recolecta de leña y hongos. El cultivo de trucha se lleva a cabo principalmente en el paraje conocido como Aila y en el Segundo Dinamo, como parte del servicio de alimentos. La recolecta de leña y hongos se ha dado de manera no controlada; estos productos se comercializan principalmente en los puestos de comida, aunque en el caso de los hongos también se colectan para autoconsumo (Ramos, 2008).

Las ideas conservacionistas en la zona continúan, por lo que la mayoría de los programas gubernamentales se centran en el desarrollo de proyectos de infraestructura y conservación, ya sea a nivel del río o de la cobertura forestal. En los últimos años han intervenido diversas instituciones. A nivel federal las más importantes son la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Entre las instituciones del Gobierno del Distrito Federal que intervienen en la zona se encuentran la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA), el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM) y la Comisión de Recursos Naturales del D.F. (CORENA). Finalmente, a nivel local interviene la delegación política La Magdalena Contreras (Tabla 3). A pesar de esta diversidad de instituciones, y de que en los diferentes programas participan diversos actores sociales, no se ha logrado impulsar una política transversal que promueva el desarrollo local y la conservación de manera integral, además de que se dan casos donde los programas de

las diferentes dependencias se enciman.

**Tabla 3**

Tabla 3. Programas gubernamentales en la cuenca del río Magdalena (CRM), COMM, del 2000 a la fecha (elaboración propia).

Instituciones	Programas en la CRM	Grupos que participan de manera conjunta en el programa	
Federales	CONAFOR	Promueve el pago de servicios ambientales de manera constante desde el 2003 (Caro, 2012) Actividades de reforestación de manera eventual	La Magdalena Atlitic La Magdalena Atlitic Asociaciones Civiles (eventuales)
	CONANP	Actividades de sancamiento del bosque en los limites colindantes con el Parque Nacional Desierto de los Leones	
	CONAGUA	Integración de la Comisión del río Magdalena, desde el 2011, como parte del Consejo de la Cuenca del Valle de México	Habitantes y comuneros de la Magdalena Atlitic Delegación Magdalena Contreras
Ciudad de México	SMA	Programa "Rescate Integral de los Rios Magdalena y Eslava" que incluye: obras tanto en las orillas del río Magdalena como en el cauce principal	Universidades (únicamente durante el desarrollo del Plan Maestro de los rios Magdalena y Eslava 2007-2008) SACM
	SACM	Administración del agua del río Magdalena, prestación del servicio de agua potable, drenaje y alcantarillado, tratamiento y reuso de aguas residuales	CONAGUA y SEDUVI
	SEDUVI	Políticas públicas de desarrollo humano (mejoras en el uso de espacio urbano, crecimiento ordenado, respeto al medio ambiente y monitoreo acerca del uso de suelo)	La Magdalena Atlitic
Locales	Programa Delegacional de Desarrollo Urbano		SEDUVI
	Delegación política la Magdalena Contreras	Aplicación de programas de conservación, saneamiento y reforestación Realización de estudios	Facultad de Ciencias, UNAM (Durante el Censo de biodiversidad en 2005-2006)

### Consideraciones finales

Como se describió a lo largo de este capítulo, las actividades en la región se han transformado a través del tiempo. Esta zona pasó de ser un área manejada por los pobladores locales dedicados a actividades del sector primario, a ser un área aprovechada por grupos privados en actividades del sector secundario. Durante el siglo XX y muy relacionado con la política preservacionista de la primera mitad de ese siglo, se transformó en un área prácticamente destinada a actividades recreativas. Todo esto bajo políticas poco articuladas de tenencia de la tierra, aprovechamiento, conservación y crecimiento urbano, lo que a la fecha sigue teniendo consecuencias negativas para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos y el desarrollo económico de las comunidades rurales

En las últimas décadas, el desarrollo de actividades se ha limitado



prácticamente a aspectos que se vinculan con la recreación y el turismo de naturaleza, que si bien han sido una oportunidad para el desarrollo de la economía local, en la mayoría de los casos se han dado de manera desordenada y aislada. En términos de conservación, a nivel federal existen indefiniciones legales sobre si el área es o no actualmente un ANP y consecuentemente sobre su jurisdicción; a nivel local el manejo de la zona se ha basado en una política de conservación, en donde el aprovechamiento está prácticamente restringido aunque de manera contradictoria se ha consentido la expansión de la mancha urbana. Todos estos aspectos repercuten en la tenencia de la tierra y en las relaciones y conflictos sociales.

Es fundamental que se desarrolle una política integral para la gestión y el manejo de la región. En ella se debe considerar que en la toma de decisiones estén representados los diferentes actores sociales, principalmente los dueños de la tierra. Un proceso de este tipo permitiría identificar no sólo las causas de los problemas desde el punto de vista local, sino también identificar quiénes y cómo deberían de involucrarse en la construcción de las soluciones.

## **Literatura**

- Aboites Aguilar, L., 1998. *El agua de la nación. Una historia política de México (1888-1946)*. México: CIESAS.
- Acosta, S.L., 2001. *Las Tierras Comunales de la Magdalena Contreras, Una Naturaleza Socializada*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Aguilar, A. G., 2008. Peri-urbanization, illegal settlements and environmental impact in Mexico City, *Cities*, 25(3), pp. 133-145. doi:[10.1016/j.cities.2008.02.003](https://doi.org/10.1016/j.cities.2008.02.003).
- Camarena Ocampo, M., 1996. Fábricas, naturaleza y sociedad en San Ángel (1850-1910). En: A. Tortolero Villaseñor, ed. *Tierra, agua y bosques: Historia y medio ambiente en el México Central*. (pp. 317–341). México: Centre Français d'Études Mexicaines et Centroaméricaines/Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora/Potrerrillos Editores SA de CV/Universidad de Guadalajara.
- Camarena Ocampo, M. y Trujillo Bolio, M., 2003. Empresarios, comerciantes, hacendados y fraccionadores: Los industriales textiles de

- 1850 a 1940. En: *Formación empresarial, fomento industrial y compañías agrícolas en el México del siglo XIX*, México: CIESAS, pp. 187-206.
- Cuadros, P.L., 2001. *Tenencia de la tierra y ecología en Magdalena Contreras*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- DOF.1932. Acuerdo que declara Zona Protectora Forestal los bosques de la Cañada de Contreras, D.F. México. Diario Oficial de la Federación.
- DOF. 1947. Decreto de creación de la Unidad Industrial de Explotación Forestal para la Fábrica de papel de Loreto Peña y Pobre. Se declara Zona Protectora Forestal del río Magdalena. México. Diario Oficial de la Federación.
- Endter-Wada, H. *et al.*, 1998. A framework for understanding social science contributions to Ecosystem Management. *Ecological Applications*, 8(3), pp. 891-904.
- Fernández-Eguiarte, A., *et al.*, 2002. Evaluación del avance de la mancha urbana sobre el área natural protegida de la Cañada de los Dinamos. *Gaceta Ecológica*, 62, pp. 56-67.
- García-Cubas, A., 1993. *Geografía e historia del Distrito Federal*. México. (Segunda edición). Instituto Mora.
- Hull, R. B., Robertson, D. P., y Tech, V., 2001. Public Understandings of Nature : A Case Study of Local Knowledge About “ Natural ” Forest Conditions College of Natural Resources. *Society & Natural Resources*, 14 (april 2000), pp. 325–340.
- Instituto de Geografía-UNAM., 2008. Reporte de investigación para el Diagnóstico sectorial de la cuenca del río Magdalena: Componente 7 Socioeconómico. En U. SMA-GDF (Ed.), *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena*. México. SMA-GDF.
- Meyer, M., 1984. *El agua en el suroeste hispánico. Una historia social y legal 1550-1850*. México: IMTA y CIESAS.
- Ramos, A., 2008. *Propuesta de reclasificación y zonificación participativa de la Zona Protectora Forestal Cañada de Contreras, Distrito Federal, México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Trujillo Bolio, Mario., 2000. *Empresariado y manufactura textil en la Ciudad de México y su periferia: Siglo XIX*, México: CIESAS.

- Vitz, M., 2012. La ciudad y sus bosques. La conservación forestal y los campesinos en el valle de México, 1900-1950, 135-172.
- White, A., y Martin, A., 2002. *Who owns the world ' s forests? Forest tenure and public forest in transition*. Washington, D.C.: Forest Trends and Center for International Environmental Law.
- Zamora Saenz, I., 2013. *Los puentes rotos de la acción colectiva. Participación social en la recuperación de ríos urbanos. El caso del río Magdalena en la Ciudad de México. Flacso-México*. Tesis de Doctorado en Sociología.
- 

<sup>1</sup> Laboratorio de Ecología del Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

Correo electrónico: \* [alyarara@gmail.com](mailto:alyarara@gmail.com)

<sup>2</sup> Departamento de Sociología, SUAYED, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>3</sup> La unidad territorial utilizada en este capítulo está definida no sólo por el parteaguas de la cuenca del río Magdalena, sino también por todo el cauce del río hasta viveros de Coyoacán. Esta unidad es necesaria para describir las actividades productivas de la región a través del tiempo.

<sup>4</sup> Este capítulo se centra en la comunidad Atlitic debido a que sus títulos de propiedad abarcan la mayor parte de la cuenca del río Magdalena.

<sup>5</sup> Los batanes consistían en fábricas de telas corrientes, mientras que los obrajes eran máquinas hidráulicas, compuestas de gruesos mazos de madera, movidos por un eje para torcer sedas.

<sup>6</sup> Las mercedes de agua eran dadas directamente por el rey para recompensar el esfuerzo realizado por una persona durante la conquista, mientras que el repartimiento era tarea de los poderes virreinales para distribuir el agua de riego (Sandré Osorio y Sánchez, 2011)

<sup>7</sup> Archivo Histórico del Agua (AHA), Fondo Aprovechamientos Superficiales, caja 571, expediente 8315, f.68: *Certificado notariado del Señor Gualterio Herrman sobre el repartimiento del río Magdalena*, 17 de agosto de 1894.

<sup>8</sup> Es muy complicado conocer con precisión el número de usuarios que aprovechaban el agua porque en varias tomas no se especificaron quiénes eran, simplemente se agruparon en rubros como “anexas” y “demás anexos”.

<sup>9</sup> Pequeñas zanjas en la tierra que se utilizan para regar y que se alimentan de otra corriente de agua.

<sup>10</sup> “Nos permitimos hacer de su conocimiento de esta Secretaría [SAyF], que los usuarios del Pueblo de San Jerónimo, Delegación de La Magdalena Contreras, CDMX, ya van para cuatro años que no pagan sus derechos de agua, así como los usuarios de la Colonia de la Huerta del Carmen, rancho ‘El Altillo’ y Pueblo de

Chimalistac de esta Delegación, estos últimos alegando que, reciben su agua contaminada con ácidos [sic] y tinturas procedentes de las Fábricas.” (AHA, Aguas Nacionales, caja 896, expediente 11291, f.3058: *Oficio #211 del Presidente de la Junta de Aguas, Sr. Rafael Vallejo, a la Secretaría de Agricultura y Fomento*, 3 de agosto de 1933.

<sup>11</sup> Al respecto, son muy significativas las palabras de Ernesto P. Uruchurtu, entonces regente del Distrito Federal: “Este Departamento ha venido observando, a través de su Dirección de Obras Hidráulicas, que la reglamentación actual de las aguas del río de la Magdalena es anacrónica, y su aprovechamiento resulta inadecuado, pues el caudal de esas aguas se distribuye de manera principal entre concesionarios que las destinan a fines industriales o de regadío agrícola, y tan sólo una mínima parte se dedica para usos domésticos de zonas aledañas tan densamente pobladas como San Jerónimo Lídice, San Ángel, La Magdalena Contreras, etc., amén de otra cantidad de agua que se desperdicia.” (AHA, Aprovechamientos Superficiales, caja 602, expediente 8752, f.155: *Oficio del Jefe de Departamento del DF., Lic. Ernesto P. Uruchurtu al Secretario de Recursos Hidráulicos, Alfredo del Mazo*, 28 de abril de 1961.

## PLANTAS ÚTILES Y MEDICINALES DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

*Amabel Paula Hernández-Sánchez*<sup>1\*</sup>, *Yedith García Galván*<sup>1</sup> y *Lucía Almeida Leñero*<sup>1</sup>

### Introducción

A lo largo de su historia, diversos grupos étnicos de nuestro país han adquirido conocimientos empíricos y han descubierto diversas propiedades de las plantas, entre ellas las de ser comestibles, medicinales o tóxicas. Los mayas, nahuas y otomíes son ejemplos de pueblos indígenas que desarrollaron una amplia cultura sobre sus recursos naturales, en especial de las plantas (Oliver, 2002). Dichos conocimientos se han transmitido, principalmente, de generación en generación, de manera oral, lo que ha ayudado a mantener y mejorar las condiciones de vida de estos pueblos (Rodríguez, 1991; Huerta, 1997). La etnobotánica mexicana reconoce la existencia de una verdadera ciencia botánica prehispánica, de ella conocemos los nombres y usos que se le han dado a las especies de plantas (Gómez-Pompa, 1993).

Algunos de los usos que se le dan a las plantas en la mayoría de las comunidades del país son: alimenticio, medicinal, forrajero, ornamental, maderable e industrial (Avendaño, 1994). Uno de los principales usos es el medicinal, gracias a la presencia en una o en varias de las partes de las plantas (tallos, hojas, flor, corteza), de sustancias químicas que tienen efecto terapéutico y que, por lo tanto, previenen o ayudan en el tratamiento de enfermedades (Merillon y Ramawat, 1999; Méndez y Olaya, 2003). En la cuenca de México, las especies con uso medicinal que más se reportan son: *Artemisa ludoviciana* subsp. *mexicana* (estafiate), *Barkleyanthus salicifolius* (jarrilla verde), *Marrubium vulgare* (manrrubio), *Chenopodium graveolens* (epazote de zorrillo), entre otras, que alivian principalmente enfermedades relacionadas con el sistema digestivo (Valdivia, 2006).

Actualmente, los conocimientos tradicionales sobre el uso de plantas se están perdiendo debido a la preferencia de uso de la medicina alopática y a que muchas comunidades han dejado de mantener contacto directo con los ecosistemas, lo que ha sido provocado, en parte, por el rápido

desarrollo urbano de las áreas donde viven. Así mismo, la disponibilidad de la flora útil se ha visto reducida por el deterioro de los bosques (Aguilar, 2007; Ramírez, 2007).

La CRM ha sido muy impactada por los procesos de urbanización, debido a su cercanía con la Ciudad de México. Por esta razón, es posible que los habitantes del lugar se alejen del bosque o pierdan interés en él, con lo que se genera una grave consecuencia: la pérdida de conocimientos tradicionales (Aguilar, 2007; Ramírez, 2007). Este trabajo busca enriquecer, rescatar y documentar la herencia cultural respecto al uso de plantas vasculares nativas de la CRM, así como evaluar el efecto antimicrobiano de algunas plantas medicinales usadas para combatir diversas infecciones.

### **Método**

Para conocer el uso de las plantas vasculares que se encuentran en la CRM, se consideró el listado florístico de la zona generado por Ávila-Akerberg, 2002; además, se realizó una consulta bibliográfica en libros, guías ilustradas y tesis, en bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y del Instituto Mexicano para el Estudio de las Plantas Medicinales (IMEPLAM) (Tabla 1). También se revisaron las etiquetas de ejemplares de herbarios nacionales (MEXU e IMEPLAM) y de jardines botánicos (UNAM y UACH). Además, se entrevistó a ocho informantes clave (personas entre 50 y 85 años), comuneros en su mayoría de Magdalena Atlitic. Toda la información obtenida a partir de la bibliografía consultada y de las encuestas se registró y organizó en una base de datos, para generar una lista de plantas útiles de la CRM.

**Tabla 1**

Tabla 1. Bibliografía consultada para generar la lista de plantas útiles de la cuenca del río Magdalena, CDMX (elaboración propia).

Autor	Año	Título del material consultado	Tipo de material	Lugar de consulta
Aguilar	1998	Plantas medicinales del herbario del IMSS; su distribución por enfermedades.	Guía ilustrada	IMEPLAM *
Licona y Yépez	1995	Botánica de forrajes (Gramineae)	Libro	UACH **
Rodríguez, Lazcano, Sánchez y Olivas	1991	Flora útil de los Estados de Puebla y Tlaxcala.	Guía	UACH
Estrada	2002	Lecturas para el diplomado internacional "Plantas medicinales de México"	Libro	UACH
Benitez	1986	Árboles y flores del Ajusco.	Guía ilustrada	UNAM ***
Castillo	1991	Estudio de las plantas medicinales en el pueblo de la Magdalena Petlacalco, Ilalpan, D. F.	Tesis	UNAM
Cedillo	1990	Las plantas útiles del municipio de Tepoztlán, Morelos.	Tesis	UNAM
González	1996	Estudio florístico y de vegetación de la Reserva Ecológica Lomas del Seminario, Ajusco.	Tesis	UNAM
Maldonado	1997	Aprovechamiento de recursos florísticos de la sierra de Huautla, Morelos.	Tesis	UNAM
Martínez	1995	Catálogo de plantas útiles de la sierra norte de Puebla.	Libro	UNAM
Miranda	1980	Plantas acuáticas útiles del Valle de México.	Tesis	UNAM
Nieto	1985	Catálogo de la flora útil de la Sierra del Ajusco.	Guía	UNAM
Tascon	1997	Contribución al estudio de la flora medicinal de San Nicolás Totoloapan, delegación Magdalena Contreras.	Tesis	UNAM
Torres	2005	Estudio etnobotánico del parque ecológico Huayamilpas.	Tesis	UNAM
Valdivia	2006	Recolección de la flora medicinal del sureste del D.F., México.	Tesis	UNAM

\* IMEPLAM: Biblioteca del Instituto Mexicano para el Estudio de las Plantas Medicinales (IMEPLAM), del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), ubicado en el Centro Médico Nacional Siglo XXI.  
 \*\* UACH: Biblioteca Central de la Universidad Autónoma Chapingo.  
 \*\*\* UNAM: Bibliotecas de Ciencias y Central de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Específicamente para las plantas medicinales, se realizaron 50 entrevistas semiestructuradas, donde se seleccionaron informantes al azar y se les preguntó acerca de las especies que conocen o usan para aliviar padecimientos en general y sobre las plantas medicinales que utilizan para tratar seis tipos de enfermedades infecciosas: digestivas, respiratorias, dermatológicas, bucales, renal-urinarias y del aparato reproductor femenino. Se les presentaron las plantas secas para que les resultara más fácil su identificación. La principal actividad económica de los entrevistados es el comercio en el parque de "Los Dinamos". Otros informantes fueron personas recomendadas por su conocimiento en el uso de plantas medicinales del área.

Adicionalmente, se organizó un taller participativo, donde se invitó a gran parte de los comuneros de la Magdalena Atlitic, la mayoría del sexo masculino y mayores de 65 años, con el objetivo de compartir saberes y experiencias en cuanto al uso de plantas medicinales de la CRM. Se llevaron a cabo dinámicas con fotografías de plantas medicinales y un

recorrido en campo.

De las categorías anteriores, se eligieron las plantas más importantes, las cuales fueron colectadas, identificadas taxonómicamente y desinfectadas para elaborar con ellas una tintura hidroalcohólica que se destiló para obtener un extracto vegetal de cada especie. Este extracto se utilizó para realizar pruebas de sensibilidad antimicrobiana y así evaluar su efecto antimicrobiano sobre trece microorganismos patógenos para el humano (ocho bacterias y cinco hongos). La descripción detallada de la metodología y los resultados completos obtenidos en la evaluación del efecto antimicrobiano de dichas plantas puede consultarse en (Hernández-Sánchez, 2009).

## Resultados

A partir de la información obtenida en la consulta bibliográfica y de las entrevistas, se registraron en total 58 familias, 90 géneros y 191 especies de plantas útiles, distribuidas en 12 categorías de uso. De éstas, sólo 27 especies fueron mencionadas en las encuestas (Anexo 1). En la figura 1 se presentan las categorías de uso y el número de especies para cada una de ellas. Debe tomarse en cuenta, que varias especies de las 191 en total, presentan dos o más usos, por lo que en estos casos, una misma especie se contabilizó en dos o más categorías.

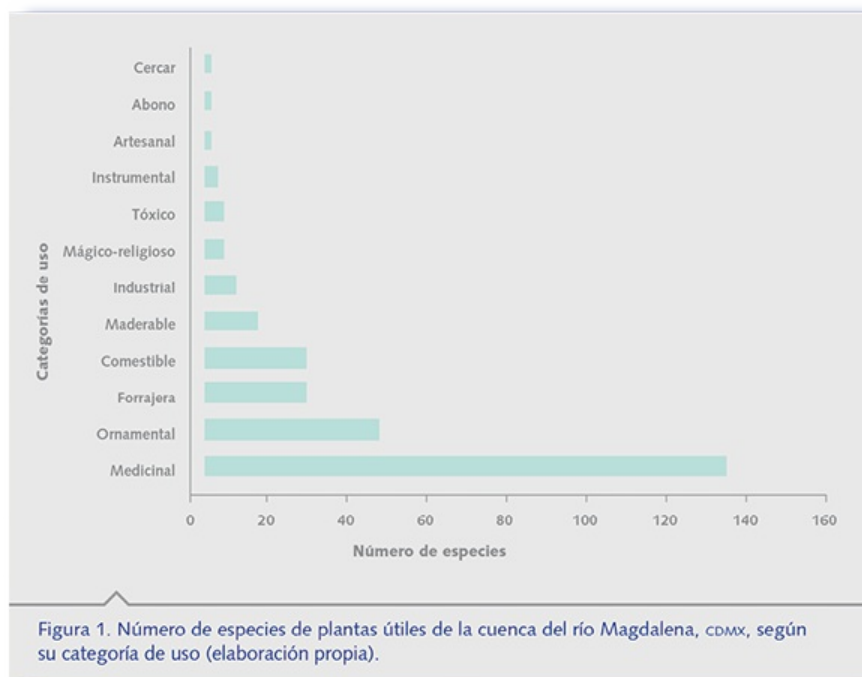


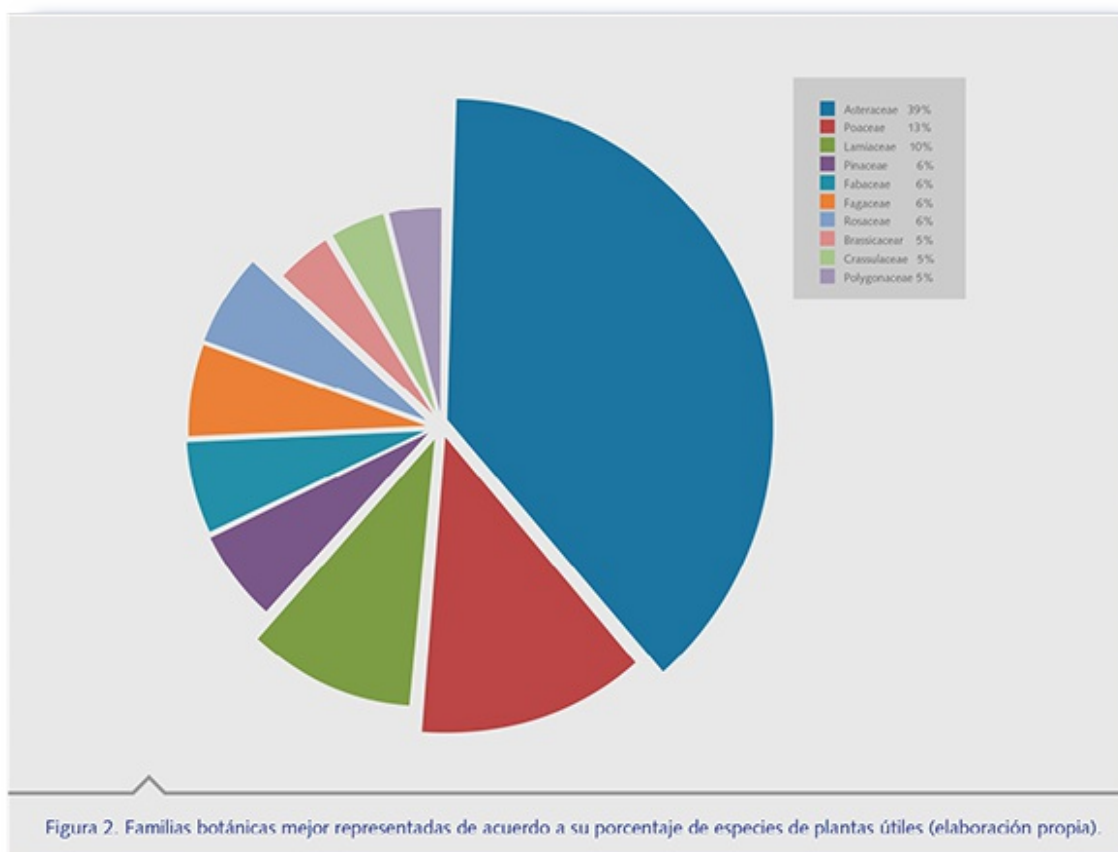
Figura 1



En primer lugar, con mayor número de reportes, tanto en la bibliografía consultada como en las encuestas, están las plantas con uso medicinal, como: *Artemisia ludoviciana* subsp. *mexicana* (estafiate), *Pseudognaphalium oxyphyllum* var. *nataliae* (gordolobo) y *Argemone ochroleuca* (chicalote), esto se debe a la importancia que tiene la salud en el desarrollo de cualquier grupo humano. Las plantas ornamentales ocupan el segundo lugar, por su atractivo y el colorido de sus flores, que se relacionan con la satisfacción que puede ser estética o espiritual (Azcárraga, 2004), como: *Zephyranthes carinata* (flor de mayo) y *Echeveria secunda* (conchita). Las plantas forrajeras juegan también un papel importante, debido a que en la CRM la vegetación herbácea del bosque se usa como principal fuente de alimento para el ganado; dos ejemplos de estas plantas son: *Calamagrostis tolucensis* (zacate) y *Polygonum aviculare* (chilli). Las especies comestibles presentan una amplia diversidad en cuanto a modos de preparación y partes utilizadas y se aprecia mucho su uso; ejemplos de estas especies son: *Opuntia ficus-indica* (nopal de castilla) y *Taraxacum officinale* (diente de león). En cuanto a las especies maderables, están *Abies religiosa* (oyamel) y diferentes tipos de *Quercus* (encinos), que han ido desapareciendo en la CRM; sin embargo, aún se reportan sus usos como en el caso de *Quercus castanea* (encino amarillo) o *Quercus rugosa* (encino de asta), del cual se extrae carbón vegetal para consumo local. La elaboración de productos de uso industrial a partir de las plantas es muy variada, según la bibliografía consultada; por ejemplo, para la fabricación de escobas se usa a *Baccharis conferta* (hierba del carnero) y *Argemone platyceras* (chicalote) para fabricar colorantes. Entre las especies de plantas reportadas con uso mágico-religioso destacan *Tagetes lucida* (hierbanís), que se utiliza como alucinógeno y ahuyentador de los malos espíritus y *Oxalis corniculata* (agritos) como amuleto de la suerte. Entre las especies tóxicas la más representativa es *Datura stramonium* (toloache), que por la acción de sus alcaloides provoca delirio, alucinaciones y sedación. Las especies *Quercus obtusata* (encino morado) y *Salix paradoxa* (hvejote), que tienen uso instrumental y artesanal respectivamente, sólo se reportaron en la bibliografía consultada, pero no se especifica el tipo de instrumentos y artesanías que se elaboran. El uso de plantas como abono está representado

por una sola especie, *Lupinus campestris* (alfalfa o cola de borrego), que se emplea en la CRM para la agricultura por su aporte de materia orgánica a los cultivos. Por último, se mencionó en las encuestas a *Roldana barba-johannis* (bandera), como una especie útil para hacer cercas y rodear terrenos.

De acuerdo con ambas fuentes de información, la familia Asteraceae es la que cuenta con mayor porcentaje de especies útiles (Fig. 2) y también es la que aparece en un mayor número de categorías de uso. Esto es fácil de explicarse, ya que se trata de la familia mejor representada en cuanto a número de géneros y especies en la CRM (Ávila-Akerberg *et al.*, 2008). La mayor parte de las especies de plantas útiles de la CRM son herbáceas y las partes más empleadas, de acuerdo con la bibliografía consultada, son las hojas y el tallo, mientras que los encuestados mencionaron que generalmente utilizan toda la planta.



**Figura 2**

Por otra parte, de acuerdo con los resultados obtenidos en las entrevistas y en el taller participativo, se utilizan 43 especies de plantas medicinales (Tabla 2). Los informantes mencionaron el 32% del total de

plantas medicinales reportadas en la literatura para la zona hasta el momento (135 plantas con uso medicinal: [Anexo 1](#) y [Fig. 1](#)).

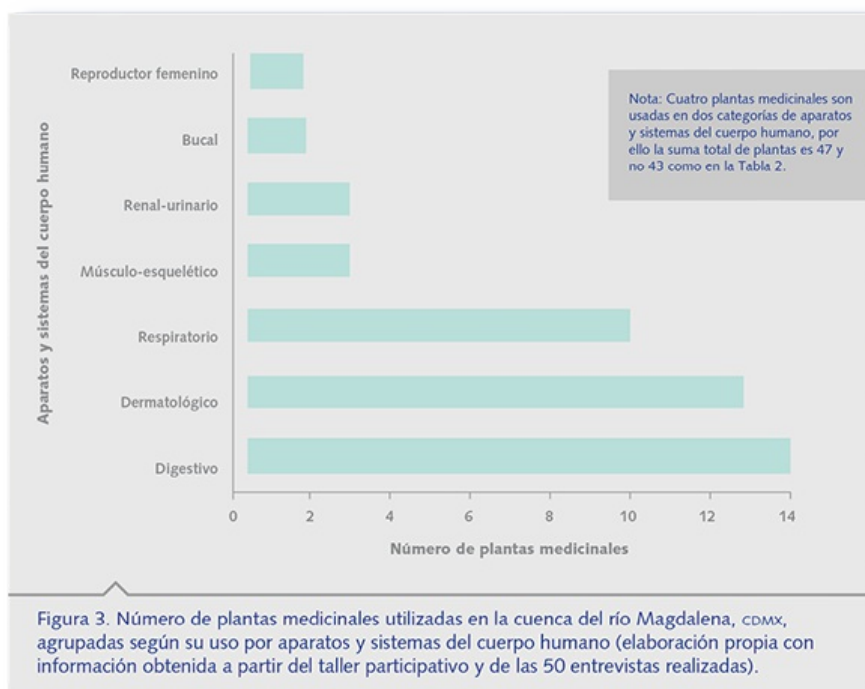
**Tabla 2**

2. Lista de plantas medicinales usadas en la cuenca del río Magdalena, CDMX (elaboración propia con información obtenida del taller participativo y de las 50 entrevistas realizadas).

Familia y especie	Nombre común	Uso medicinal por aparato o sistema / usada para tratar infección "Si" o "No"	Parte utilizada	Parte utilizada
Araliaceae	Hierba del sapo	Renal-urinario / No	Parte aérea	Oral y tópico
Urticaceae	Hierba del ángel	Dermatológico / No	Parte aérea	Tópico
Urticaceae	Estafiate	Digestivo / Si	Parte aérea	Oral
Urticaceae	Escobilla	Respiratorio / Si	Parte aérea	Oral
Urticaceae	Jarilla verde	Músculo-esquelético / No	Parte aérea	Oral
Urticaceae	Acahual	Reproductor femenino / Si	Parte aérea	Tópico
Urticaceae	Cardo santo	Respiratorio / No	Tallos	Oral
Urticaceae	Simonillo	Digestivo / No	Parte aérea	Oral
Urticaceae	Manzanilla	Digestivo / Si	Parte aérea	Oral
Urticaceae	Gordolobo	Respiratorio / Si	Parte aérea	Oral
Urticaceae	Ojo de gallo	Digestivo / Si	Parte aérea	Oral
Urticaceae	Diente de león	Digestivo / Si	Parte aérea	Oral
Urticaceae	Hierba del gallo	Digestivo / Si	Parte aérea	Oral
Urticaceae	Ala de ángel	Dermatológico / No	Parte aérea	Tópico
Urticaceae	Lentejilla	Digestivo / Si	Parte aérea	Oral
Urticaceae	Sauco	Respiratorio / Si	Flor	Oral
Urticaceae	Carricillo	Renal-urinario / Si	Tallos	Oral
Urticaceae	Encino	Bucal / Si	Corteza	Tópico
Urticaceae	Aguacatillo	Digestivo / Si	Corteza	Oral
Urticaceae	Poleo	Respiratorio / No	Parte aérea	Oral
Urticaceae	Manrubio	Digestivo y respiratorio / No en ambos casos	Parte aérea	Oral
Urticaceae	Mirto	Digestivo / No	Parte aérea	Oral
Urticaceae	Tabaquillo	Digestivo / Si	Parte aérea	Oral
Urticaceae	Hierba del cancer	Dermatológico / Si	Parte aérea	Tópico
Urticaceae	Hierba del golpe	Dermatológico / No	Parte aérea	Tópico
Urticaceae	Crcsta de gallo	Dermatológico / Si	Parte aérea	Tópico
Urticaceae	Chicalote	Respiratorio / Si	Parte aérea	Oral
Urticaceae	Hierba mora	Dermatológico / Si	Parte aérea	Tópico
Urticaceae	Oyamel	Respiratorio / Si	Resina	Oral
Urticaceae	Pino	Respiratorio / Si	Resina	Oral
Urticaceae	Llantén	Dermatológico y digestivo / Si en ambos casos	Parte aérea	Oral y tópico
Urticaceae	Espinosilla	Dermatológico / No	Parte aérea	Tópico
Urticaceae	Lengua de vaca	Dermatológico / No	Parte aérea	Tópico
Urticaceae	Pata de león	Renal-urinario y bucal / Si en ambos casos	Parte aérea	Oral y tópico
Urticaceae	Trompetilla	Digestivo / No	Parte aérea	Oral
Urticaceae	Flor de ocote o Muérdago enano	Respiratorio / Si	Tallos	Oral
Urticaceae	Tepozán	Digestivo / Si	Hojas jóvenes	Oral
Urticaceae	Hierba del zopilote	Dermatológico / Si	Parte aérea	Tópico
Urticaceae	Tolache	Músculo-esquelético / No	Parte aérea	Oral
Urticaceae	Hierba mora	Dermatológico y reproductor femenino / Si en ambos casos	Parte aérea	Tópico
Urticaceae	Jabalonga	Dermatológico / Si	Parte aérea	Tópico
Urticaceae	Ortiguilla	Músculo-esquelético / No	Parte aérea	Tópico
Urticaceae	Verbena	Dermatológico / Si	Parte aérea	Tópico

Las plantas mencionadas se agruparon en diferentes categorías de uso

por aparatos y sistemas del cuerpo humano (Fig. 3), cabe mencionar que cuatro de estas especies medicinales (*Marrubium vulgare*, *Plantago major*, *Ranunculus* sp. y *Solanum cervantesii*) son usadas en dos categorías de aparatos y sistemas del cuerpo humano (Tabla 2), por ejemplo, la planta *Solanum cervantesii* es utilizada para tratar infecciones dermatológicas y también del aparato reproductor femenino.

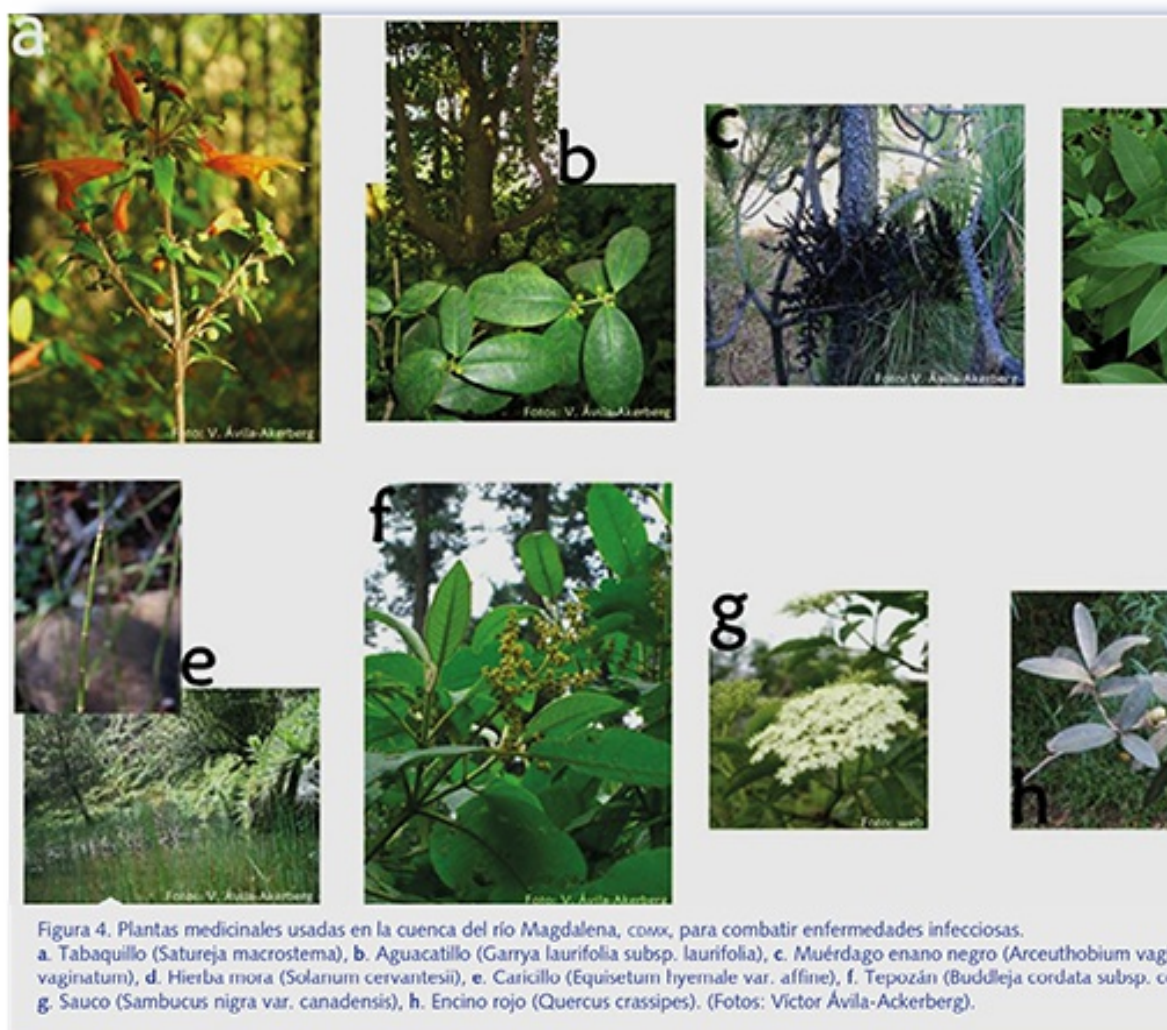


**Figura 3**

Actualmente en la CRM, se siguen usando plantas medicinales, pero el padecimiento es tratado en combinación con medicina alopática. La parte aérea de la planta es la que más se emplea con fines medicinales; ésta consiste de tallos y hojas con o sin flor. La forma más común de preparar los remedios para administrarlos es el cocimiento, que consiste en hervir durante un periodo de 5 a 15 minutos el órgano adecuado de la planta. La mayoría de los informantes mencionaron que las plantas son fáciles de obtener, ninguno de ellos se dedica a su venta, las adquieren para uso personal del campo; sin embargo, reconocen que gente ajena a la CRM extrae plantas para venderlas. Los entrevistados consideran que las plantas forman parte importante de su conocimiento tradicional y muestran preocupación por la pérdida de esta información. La planta más usada y valorada por todos los informantes es el tabaquillo o té de monte (*Satureja macrostema*); sin embargo, comentaron que es la que menos encuentran en

el campo hoy en día.

De las 43 plantas medicinales, 28 especies son usadas para combatir enfermedades infecciosas (ver [Tabla 2](#)). Para los informantes, las especies más importantes usadas en el tratamiento de infecciones digestivas son: el tabaquillo (*Satureja macrostema*), el aguacatillo (*Garrya laurifolia* subsp. *laurifolia*) y el tepozán (*Buddleja cordata* subsp. *cordata*); para el alivio de infecciones dermatológicas, la hierba mora (*Solanum cervantesii*); contra infecciones respiratorias, el sauco (*Sambucus nigra* var. *canadensis*) y el muérdago enano negro (*Arceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum*); para infecciones bucales, el encino rojo (*Quercus crassipes*); para tratamiento de infecciones del aparato reproductor femenino, la hierba mora; y para las infecciones renal-urinarias, el carricillo (*Equisetum hyemale* var. *affine*) (Fig. 4).



**Figura 4**

El resultado de la evaluación del efecto antimicrobiano de los ocho extractos de las plantas medicinales mencionadas anteriormente se presenta en la tabla 3. En ella, también se muestran las ocho bacterias y cinco hongos patógenos utilizados en el estudio.

**Tabla 3**

Tabla 3. Efecto antimicrobiano de ocho extractos de plantas medicinales frente a trece microorganismos patógenos para el humano (elaboración propia).

Planta medicinal	Bacterias y hongos patógenos para el ser humano													Total
	Cx	Ef	Ec	Mp	Sa	Sβ	Sm	Sp	al	kr	ste	tro	geo	
<i>Arceuthobium vaginatum</i> subsp. <i>vaginatum</i>	X	X	X	X	X	X	✓	✓	X	X	X	X	X	2
<i>Buddleja cordata</i> subsp. <i>cordata</i>	X	X	X	X	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	1
<i>Equisetum hyemale</i> var. <i>affine</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0
<i>Garrya laurifolia</i> subsp. <i>laurifolia</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0
<i>Quercus crassipes</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	8
<i>Sambucus nigra</i> var. <i>canadensis</i>	✓	✓	X	X	✓	X	✓	X	X	X	X	X	X	4
<i>Satureja macrostema</i>	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	X	✓	9
<i>Solanum cervantesii</i>	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	11

Cx: *Corynebacterium xerosis* (bacteria); Ef: *Enterococcus faecalis* (bacteria); Ec: *Escherichia coli* (bacteria); Mp: *Mycobacterium phlei* (bacteria); Sa: *Staphylococcus aureus* (bacteria); Sβ: *Streptococcus β-hemolítico* (bacteria); Sm: *Streptococcus mutans* (bacteria); Sp: *Streptococcus pyogenes* (bacteria); al: *Candida albicans* (hongo); kr: *Candida krusei* (hongo); ste: *Candida stellatoidea* (hongo); tro: *Candida tropicalis* (hongo); geo: *Geotrichum* sp. (hongo).

(✓) El microorganismo presenta sensibilidad al extracto vegetal. (X) El microorganismo presenta resistencia al extracto vegetal.

Nota: Si el microorganismo (bacteria u hongo) presenta sensibilidad al extracto vegetal, entonces la planta medicinal presenta efecto antimicrobiano y es capaz de combatir alguna infección provocada por ese microorganismo. Por el contrario, si el hongo o bacteria presenta resistencia al extracto, entonces la planta no presenta efecto antimicrobiano y no funciona como medicinal para combatir infecciones causadas por ese microorganismo.

## Discusión

La CRM brinda diversos servicios ecosistémicos de provisión, uno de los más importantes es el mantenimiento de la biodiversidad y, por consiguiente, la provisión de plantas útiles. La riqueza cultural de la zona juega un papel muy importante en el mantenimiento y uso de esta flora, a partir de la interacción con el sistema natural y de la generación y conservación del conocimiento tradicional por parte de las comunidades.

La información recabada permite afirmar que, debido a su amplia biodiversidad, la CRM posee una gran variedad de plantas útiles, ya que su uso se ha documentado desde que se dieron los primeros asentamientos en la zona (García, 2008). Con base en esto, Acosta, 2001, menciona que a partir del siglo XVI y hasta la actualidad, los bosques de la Magdalena han

brindado diversos servicios ecosistémicos de provisión a sus habitantes, como madera, leña, carbón, ocote, resinas y plantas de uso medicinal, alimentario y ceremonial.

No obstante, a pesar de que diversos trabajos previos en la zona, señalan la generación de un amplio conocimiento tradicional sobre el uso de las plantas, éste no se ve reflejado en los resultados obtenidos, a pesar de que la muestra es pequeña, consideramos que refleja la pérdida de los conocimientos tradicionales de la flora medicinal, ya que de las 135 especies de plantas medicinales reportadas se mencionaron sólo 43, siendo evidente durante las entrevistas que son pocas las personas que aún poseen esos conocimientos. Al comprobar el efecto antimicrobiano en seis de las ocho plantas medicinales estudiadas, se pudo constatar la importancia de los conocimientos tradicionales de los informantes; ya que, gracias a su saber, las pruebas de laboratorio para la mayoría de las plantas resultaron satisfactorias. Las plantas medicinales que presentaron efecto antimicrobiano pueden ser la base de proyectos futuros que incluyan su cultivo, conservación y manejo.

Los grandes cambios que se han producido sobre el conocimiento y uso de las plantas útiles sobre de los habitantes de la CRM, refleja por un lado el desinterés de las nuevas generaciones como el resultado de los grandes cambios sociodemográficos que se han producido en el área. Por ello, es necesario ampliar las investigaciones sobre plantas útiles, con el fin de obtener más información relacionada con los conocimientos de los habitantes de la CRM sobre el uso de los recursos naturales.

Cabe señalar, que las futuras investigaciones, deben favorecer la transmisión de este conocimiento tradicional a las siguientes generaciones, a fin de enriquecerlo y preservarlo. Sería adecuado, implementar talleres dirigidos principalmente a jóvenes y niños, como un medio de educación y sensibilización, donde se resalte la importancia del conocimiento tradicional en el buen manejo y conservación de los recursos vegetales de la CRM.

Esta primera contribución permite documentar el conocimiento que tiene la comunidad de la Magdalena Atlitic en el reconocimiento de los usos de las plantas, y en especial el valor adicional de la flora medicinal de la zona, lo que respalda la urgencia de mantener la calidad de los bosques



y así proteger sus servicios ecosistémicos.

### **Agradecimientos**

Se agradece a las personas que nos brindaron una entrevista y que nos compartieron sus valiosos conocimientos tradicionales. A la M. en C. Beatriz González Hidalgo por su ayuda en campo, a la M. en C. María de Jesús Sánchez ColínU por su apoyo en la realización de las pruebas antimicrobianas en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la UNAM, en el laboratorio Microbiología de Suelos.

### **Referencias**

- Acosta S., 2001. *Las tierras comunales de la Magdalena Contreras*. Tesis de licenciatura en Geografía. México. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Aguilar, M.R., 2007. *Etnobotánica cuantitativa en una región de bosque de niebla de sierra norte, Oaxaca*. Tesis de Maestría. México. Instituto Politécnico Nacional.
- Avendaño, R., 1994. El conocimiento de la flora útil: una base para conservar los recursos vegetales. En: G. Castillo-Campos y Mejía-Saulés, M., eds. *Problemática ambiental en el estado de Veracruz: los recursos vegetales*. México: Colegio Profesional de Biólogos del Estado de Veracruz, A. C., Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana. pp. 59-66.
- Ávila-Akerberg, V., 2002. *La vegetación en la cuenca alta del río Magdalena: un enfoque florístico, fitosociológico y estructural*. Tesis de licenciatura. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ávila-Akerberg, V., et al., 2008. Refugio de fitodiversidad en la Ciudad de México, el caso de la cuenca del río Magdalena. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 2(1), pp. 605-619.
- Azcárraga, M.R., 2004. *Un acercamiento etnobotánico al valle de México: plantas útiles en siete mercados urbanos y periurbanos*. Tesis de Doctorado. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, Y., 2008. *Las plantas útiles de la cuenca del río Magdalena, D. F., una guía ilustrada*. Tesis de licenciatura en Biología. México.

- Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gómez-Pompa, A., 1993. *Las raíces de la Etnobotánica mexicana*. Instituto de Ecología A.C. y Sociedad Botánica de México. Universidad de California Riverside.
- Hernández-Sánchez, A.P., 2009. *Plantas medicinales y su efecto antimicrobiano: un servicio ecosistémico de la cuenca del río Magdalena, D. F.* Tesis de licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Huerta, C., 1997. Herbolaria: mito o realidad. *Biodiversitas*, 3(12), pp. 1-7.
- Méndez, J. y Olaya, J.M., 2003. *Guía de plantas y productos medicinales*. Colombia: Convenio Andrés Bello.
- Merillon, J.M. y Ramawat, K.G., 1999. *Biotechnology. Secondary Metabolites*. Enfield, NH: Science Publishers.
- Oliver, B., 2002. Mayas, Nahuas, Otomíes y la medicina tradicional. En: *Lecturas para el diplomado internacional plantas medicinales de México*. México: Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México. pp. 111-118.
- Ramírez, C., 2007. Etnobotánica y la pérdida de conocimiento tradicional en el Siglo 21. *Ethnobotany Research & Applications*, 5(1), pp. 241-244.
- Rodríguez, M., 1991. *Flora útil de los Estados de Puebla y Tlaxcala*. México. Gobierno del Estado de Puebla, Universidad Autónoma de Puebla, Comisión Puebla V Centenario.
- Valdivia, E., 2006. *Recolección de la flora medicinal del sureste del DF, México*. Tesis de licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- 

<sup>1</sup> Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.  
Correo electrónico: \* [amabell8@yahoo.com.mx](mailto:amabell8@yahoo.com.mx)

# Anexo 1

Anexo 1. Lista de especies de plantas útiles de la cuenca del río Magdalena, CDMX (elaboración propia).			
DIVISIÓN, FAMILIA Y NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	USOS	PARTE UTILIZADA
<b>EQUISETOPHYTA</b>			
<b>Equisetaceae</b> <i>Equisetum hyemale</i> L. var. <i>affine</i> (Engelm.) A. A. Eaton *	Cola de caballo, carricillo	Medicinal**	Tallo
<b>CONIFEROPHYTA</b>			
<b>Pinaceae</b> <i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schtdl. & Cham.*	Oyamel, abeto, arbolito de navidad	Medicinal,** Maderable e Industrial***	Corteza y tallo
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	Pino	Maderable	Tallo
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schtdl. & Cham.	Pino prieto	Maderable	No se menciona
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	Pino moctezuma, pino real	Maderable	Tallo
<i>Pinus patula</i> Schtdl. & Cham.	Ocote colorado	Maderable	No se menciona
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	Pino otiguillo	Maderable	No se menciona
<i>Pinus teocote</i> Schtdl. & Cham.*	Ocote, ocote chino	Medicinal,** Maderable e Industrial	Tallo y ramas
<b>MAGNOLIOPHYTA</b>			
<b>Apiaceae</b> <i>Eryngium carlinae</i> F. Delarochae *	Hierba del sapo, cursonera, mosquitos	Medicinal **	Tallos, hojas y flores
<i>Eryngium prolaeae</i> F. Delarochae *	Maguecillo, rosa de las nieves	Medicinal y Ornamental**	No se menciona
<b>Apocynaceae</b> <i>Asclepias ovata</i> M. Martens & Galeotti	Patito	Medicinal	No se menciona
<b>Asteraceae</b> <i>Achillea millefolium</i> L. *	Mil en rama, plumajillo, hierba de las cortaduras	Medicinal **	Hojas y tallos
<i>Ageratina calamintifolia</i> (Kunth) R.M. King & H. Rob.	Cocopaltzi	Medicinal, Mágico-religioso	No se menciona
<i>Ageratina glabrata</i> (Kunth) R.M. King & H. Rob. *	Hierba del golpe, hierba verde, hierba de San Nicolás	Medicinal ** y Ornamental**	No se menciona
<i>Ageratina puzosarensis</i> (Kunth) R.M. King & H. Rob.	La pancha	Medicinal	Inflorescencias
<i>Ageratina pedicularis</i> (Moc. ex DC.) R.M. King & H. Rob.	Hierba del ángel	Medicinal	Ramas e inflorescencias
<i>Ageratum asymbosum</i> Zucc. ex Pers.	Mota morada, hierba amargosa de la chica	Medicinal y Ornamental	No se menciona
<i>Artemisia ludoviciana</i> Nutt. ssp. <i>mexicana</i> (Willd. ex Spreng.) D. D. Keck	Estafiate, epazote de castilla, ajeno del país	Medicinal	Hojas y tallos
<i>Aster subulatus</i> Michx.	Manuelita, escoba de río, escobilla	Medicinal y Ornamental	Inflorescencias
<b>Asteraceae</b> <i>Baccharis conferta</i> Kunth	Hierba del carbonero, escobilla del carbonero, tepopote	Medicinal e Industrial	Hojas e inflorescencias
<i>Barkleyanthus salicifolius</i> (Kunth) H. Rob. & Brettell	Jarilla, jarilla verde, azomiate, jara mexicana	Medicinal	Hojas y ramas
<i>Bidens odorata</i> Cav.	Acahual blanco, acobilla	Medicinal y Ornamental	Hojas e inflorescencias
<i>Bidens triplinervia</i> Kunth	Acahual cimarrón	Ornamental	No se menciona
<i>Briickellia pendula</i> (Schrad.) A. Gray	Hierba amargosa	Medicinal	No se menciona
<i>Cirsium ehrenbergii</i> Sch. Bip.	Cardo, cardo santo, cardo de montaña	Medicinal	Tallo y ramas
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	Simonillo	Medicinal	Hojas y tallo
<i>Crocanis hymenatus</i> Cav	Ciracasí menorán, mirasol	Ornamental	Inflorescencias
<i>Cosmos scabiosoides</i> Kunth	Cocopite	Medicinal	No se menciona
<i>Dahlia coccinea</i> Cav.	Dalia	Medicinal, Ornamental y Comestible	Raíz
<i>Dahlia pinnata</i> Cav.	Dalia de campo	Medicinal, Ornamental y Comestible	Raíz
<i>Erigeron galeottii</i> (A. Gray) Greene	Sopilla	Medicinal	No se menciona
<i>Erigeron karwinskianus</i> DC.	Piojo	Medicinal	No se menciona
<i>Erigeron pubescens</i> Kunth	Manzanilla	Medicinal	No se menciona
<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	Estrellita	Ornamental	No se menciona
<i>Gnaphalium semiamplexicaule</i> DC.	Gordolobo	Medicinal	Inflorescencias y ramas
<i>Packera bellidifolia</i> (Kunth) W. A. Weber & Á. Löve	Calancapatle, calamapatl, nanahuapatli	Medicinal	No se menciona
<i>Pinaropappus roseus</i> (Less.) Less. var. <i>roseus</i>	Izpule, xipul, chipule, esorzonera, motita	Medicinal	No se menciona
<i>Piqueria pilosa</i> Kunth	Hierba de San Nicolás, hierba de tabardillo, torbadillo	Medicinal	No se menciona
<i>Piqueria trinervia</i> Cav.	Hierba de San Nicolás, tabadillo, hierba del tabadillo	Medicinal, Ornamental y Mágico-religioso	Hojas
<i>Porophyllum tazetoides</i> (Kunth) DC.	Papaloquite, pipetza	Medicinal, Comestible	Tallo y hojas
<i>Pseudognaphalium oxyphyllum</i> (DC.) Kirp. *	Gordolobo	Medicinal **	Inflorescencias
<i>Roldana barba-johannis</i> (DC.) H. Rob. & Brettell *	Barba de Juan de Dios, gordolobo de monte, bandera	Medicinal, Comestible y para Cercar ***	Ramas
<i>Roldana plataniifolia</i> (Benth.) H. Rob. & Brettell	Hierba del Zopilote, tzitzicaxtili	Medicinal	No se menciona
<i>Sanvitalia procumbens</i> Lam.	Ojo de gallo, ojo de perico	Medicinal	Hojas y raíz
<i>Senecio callosus</i> Sch. Bip.	Hoja de flecha, gordolobo de corriente	Medicinal y Ornamental	No se menciona
<i>Senecio cinerarioides</i> Kunth *	Jarilla blanca, rosa de San Juan	Medicinal**	No se menciona
<i>Sigesbeckia jorullensis</i> Kunth	Pegarropa, flor de la araña	Medicinal y Forrajera	No se menciona
<i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers.	Acahual	Medicinal	No se menciona
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Lechuguilla, chicoria	Medicinal y Ornamental	No se menciona
<i>Tagetes lucida</i> Cav.	Pericón, Santa María	Medicinal, Comestible y Mágico-religioso	Tallos, hojas y flores
<i>Tagetes micrantha</i> Cav.	Anisillo, anís de campo, hierbanís	Medicinal	Hojas y semillas
<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg. *	Diente de León, lechuguilla amarilla	Medicinal ** y Comestible**	Raíz y hojas
<i>Verbesina onchophora</i> B. L. Rob. & Seaton	Cahual	Medicinal	No se menciona
<i>Zinnia peruviana</i> (L.) L.	Mal de ojo, hierba del gallo	Medicinal	No se menciona

\* Especies de plantas útiles mencionadas en la bibliografía consultada y en las ocho encuestas realizadas.

\*\*Uso reportado en bibliografía consultada y en las ocho encuestas. \*\*\*Uso reportado sólo en las ocho encuestas.

Anexo 1. Lista de especies de plantas útiles de la cuenca del río Magdalena, COMX (elaboración propia).

DIVISIÓN, FAMILIA Y NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	USOS	PARTE UTILIZADA
<b>MAGNOLIOPHYTA</b>			
<b>Begoniaceae</b> <i>Begonia gracilis</i> Kunth	Ala de ángel, doncella	Medicinal y Ornamental	Raíz
<b>Berberideaceae</b> <i>Berberis moranensis</i> Schult. & Schult. f.	Palo amarillo, encino amarillo	Medicinal	No se menciona
<b>Betulaceae</b> <i>Alnus acuminata</i> Kunth ssp. <i>arguta</i> (Schltdl.) Furlow <i>Alnus jorullensis</i> Kunth ssp. <i>jorullensis</i> Kunth	Abedul, álamo Aile	Medicinal Medicinal	No se menciona No se menciona
<b>Boraginaceae</b> <i>Lithospermum distichum</i> Ortega <i>Lithospermum strictum</i> Lehm. <i>Phacelia platycarpa</i> (Cav.) Spreng. <i>Wigandia urens</i> (Ruiz & Pav.) Kunth	Perilla, hierba de la comezón Estafiate chiquito, Santa María simple Espuelas, tlatomaxihuitl Tabaquillo	Medicinal y Forrajera Medicinal Forrajera Medicinal	No se menciona No se menciona No se menciona No se menciona
<b>Brassicaceae</b> <i>Cleome flaccida</i> Cham. & Schltdl. <i>Eruca sativa</i> Mill. <i>Lepidium virginicum</i> L. var. <i>pubescens</i> (Greene) Thell. <i>Raphanus raphanistrum</i> L. <i>Rorippa nasturtium-aquaticum</i> (L.) Hayek	Berro cimarrón Cruz de pato, saramago, mostacilla Lentejilla Jaramado, rábano, nabo, nabo blanco, rabanillo Cresón, berro	Medicinal y Comestible Medicinal y Comestible Medicinal, Comestible y Mágico-religioso Medicinal y Comestible Medicinal y Comestible	No se menciona Hojas, flores y fruto Toda la planta y hojas Hojas
<b>Cactaceae</b> <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	Nopal de castilla, nopal manso, xoconostle	Medicinal y Comestible	Tallos y fruto
<b>Campanulaceae</b> <i>Lobelia fenestrata</i> Cav. <i>Lobelia grana</i> Cav. var. <i>grana</i> Cav. <i>Lobelia laxiflora</i> Kunth var. <i>angustifolia</i> A. DC.	Cola de zorra Lobelia Aretibos, lobelia, chilpanxochtl	Medicinal Ornamental Medicinal	No se menciona No se menciona Hojas y tallos
<b>Caprifoliaceae</b> <i>Symphoricarpos microphyllus</i> Kunth <i>Sambucus nigra</i> L. var. <i>canadensis</i> (L.) B.L. Turner <i>Valeriana clematidis</i> Kunth	Perilla Sauco Nube de campo, uña de gato	Ornamental Medicinal y Comestible Medicinal	No se menciona Flores y fruto No se menciona
<b>Caryophyllaceae</b> <i>Drymaria laxiflora</i> Benth.	Míchichuis	Medicinal	No se menciona
<b>Cistaceae</b> <i>Helianthemum glomeratum</i> (Lag.) Lag. ex DC.	Juanita, tomillo de monte, hierba de la gallina	Medicinal	Raíz, hojas y ramas
<b>Crassulaceae</b> <i>Altamiranoa mexicana</i> (Schltdl.) Rose <i>Echeveria gibbiflora</i> Moc. & Sessé ex DC. <i>Echeveria secunda</i> Booth ex Lindl. <i>Sedum moranense</i> Kunth <i>Sedum praealtum</i> A. DC. ssp. <i>parvifolium</i> (R. T. Clausen) R. T. Clausen	No se menciona Oreja de burro Conchita, siempreviva, oreja de ratón Chisme de campo, chismes Siempreviva amarilla	Ornamental Medicinal y Ornamental Ornamental Medicinal Medicinal	No se menciona No se menciona No se menciona No se menciona Hojas
<b>Cucurbitaceae</b> <i>Sicyos deppii</i> G. Don	Chayotillo, tatana	Comestible	No se menciona
<b>Ericaceae</b> <i>Arbutus xalapensis</i> Kunth <i>Pernettya prostrata</i> (Cav.) DC.	Madroño Capulincillo	Medicinal Medicinal	No se menciona No se menciona
<b>Euphorbiaceae</b> <i>Euphorbia prostrata</i> Aiton	Hierba de la golondrina, celidonia	Medicinal	Hojas y tallo
<b>Fabaceae</b> <i>Calliandra grandiflora</i> (L' Hér.) Benth. <i>Erythrina coralloides</i> DC. <i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg. <i>Lupinus campestris</i> Cham. & Schltdl. *  <i>Lupinus elegans</i> Kunth <i>Phaseolus multiflorus</i> Willd. var. <i>coccineus</i> (L.) DC. <i>Trifolium amabile</i> Kunth	Nuez de monte, cabello de Ángel Colorín, chocolin, sompante Palo dulce, cujuate Alfalfa, cola de borrego  Garbancillo, cola de zorra Frijol, ayocote Jaboncillo	Medicinal Ornamental y Medicinal Medicina Ornamental, ** Tóxico y Abono** Ornamental Comestible Forrajera	No se menciona No se menciona Tallo y ramas No se menciona Flores Fruto Tallo, hojas y flores
<b>Fagaceae</b> <i>Quercus castanea</i> Neé <i>Quercus crassipes</i> Humb. & Bonpl <i>Quercus frutescens</i> Trel. <i>Quercus laurina</i> Bonpl. <i>Quercus mexicana</i> Bonpl. <i>Quercus obtusata</i> Bonpl. <i>Quercus rugosa</i> Neé *	Encino amarillo Encino, pipiza Encino, roble colorado Encino laurelillo, aucepitzahuac Cozahuatl, encino ochovarro Encino morado Encino de asta	Maderable Maderable y Tóxico Medicinal Maderable y Tóxico Maderable Maderable e Instrumental Medicinal, ** maderable e Instrumental	Tallo Tallo No se menciona Tallo Tallo Tallo Corteza
<b>Garryaceae</b> <i>Garrya laurifolia</i> Hartw. ex Benth. ssp. <i>laurifolia</i> Hartw. ex Benth.	Aguscatillo, Cuachichic, palo negro	Medicinal	No se menciona
<b>Geraniaceae</b> <i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér. ex Aiton <i>Geranium potentillaefolium</i> DC. *	Alfilerillo, pata de León, arete Soldadiente, chocoyotl	Medicinal Forrajera ** y Ornamental**	Tallos, hojas y flores

\* Especies de plantas útiles mencionadas en la bibliografía consultada y en las ocho encuestas realizadas.

\*\* Uso reportado en bibliografía consultada y en las ocho encuestas. \*\*\* Uso reportado sólo en las ocho encuestas.

Anexo 1. Lista de especies de plantas útiles de la cuenca del río Magdalena, comx (elaboración propia).

DIVISIÓN, FAMILIA Y NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	USOS	PARTE UTILIZADA
<b>MAGNOLIOPHYTA</b>			
<b>Grossulariaceae</b> <i>Ribes ciliatum</i> Humb. & Bonpl. ex Roem. & Schult.	Toronjil blanco, toronjil morado	Medicinal	No se menciona
<b>Lamiaceae</b> <i>Agastache mexicana</i> (Kunth) Linton & Epling <i>Cunila lythriifolia</i> Benth. <i>Hedeoma piperita</i> Benth. <i>Lepechinia caulescens</i> (Ortega) Epling <i>Marrubium vulgare</i> L. <i>Prunella vulgaris</i> L. <i>Salvia mexicana</i> L. var. <i>minor</i> (L.) Benth. <i>Salvia microphylla</i> Kunth var. <i>microphylla</i> Kunth *  <i>Salvia polytachya</i> Ortega <i>Satureja macrostema</i> (Moc. & Sessé ex Benth.) Briq. <i>Stachys coccinea</i> Ortega	Toronjil blanco, toronjil morado Poleo Tabaquillo, chicho Bretónica Manrubio, manrubio Hierba de las heridas Mirto, tacote Gobernadora, mirto de castilla, bandera mexicana Chia, hierba amargosa Té de monte, tabaquillo Labiada, mirto	Medicinal Medicinal Medicinal Medicinal Medicinal Medicinal Ornamental Medicinal ** y Mágico-religioso Medicinal y Comestible Medicinal Ornamental	No se menciona Hojas y flores No se menciona No se menciona Tallos, hojas y flores Hojas No se menciona Ramas  No se menciona Ramas No se menciona
<b>Lythraceae</b> <i>Cuphea aequipetala</i> Cav.	Hierba del cáncer, atlanchane	Medicinal	Toda la planta
<b>Malvaceae</b> <i>Malva parviflora</i> L. *	Malva	Medicinal ** y Comestible***	Tallo, hojas y flores
<b>Nyctaginaceae</b> <i>Mirabilis jalapa</i> L.	Maravilla	Medicinal	No se menciona
<b>Oleaceae</b> <i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.  <i>Ligustrum japonicum</i> Thunb.	Fresno  Trueno	Medicinal, Ornamental y Maderable Ornamental	Tallo No se menciona
<b>Onagraceae</b> <i>Fuchsia microphylla</i> Kunth ssp. <i>microphylla</i> Kunth * <i>Gaura coccinea</i> Pursh <i>Lopezia racemosa</i> Cav. ssp. <i>racemosa</i> Cav. <i>Oenothera rosea</i> L' Hér. ex Aiton	Aretillo, aretillo silvestre, aretillo cimarrón Aretitos, linda tarde Alfilerillo, perilla Hierba del golpe, agua de azahar, hierba cólica	Ornamental** Medicinal Medicinal Medicinal y Ornamental	Flores Tallos, hojas y flores No se menciona Ramas y toda la planta
<b>Orobanchaceae</b> <i>Castilleja arvensis</i> Schtdl. & Cham. <i>Castilleja tenuiflora</i> Benth.	Cabeza de gorrion Cola de borrego, hierba del cáncer, cresta de gallo	Medicinal y Ornamental Medicinal	Hojas y ramas No se menciona
<b>Oxalidaceae</b> <i>Oxalis corniculata</i> L.	Acedera, agritos de maceta, xocoyol	Medicinal, Ornamental y Mágico-religioso	No se menciona
<b>Papaveraceae</b> <i>Argemone ochroleuca</i> Sweet <i>Argemone platyceras</i> Link & Otto	Chicalote, San Carlos Chicalote	Medicinal y Comestible Medicinal e Industrial	Tallos Raíz, flores y tallo
<b>Passifloraceae</b> <i>Passiflora exsudans</i> Zucc.	Pasionaria, zopache de cerro	Medicinal	No se menciona
<b>Phymaceae</b> <i>Mimulus glabratus</i> Kunth	Perrito	Medicinal	No se menciona
<b>Phytolaccaceae</b> <i>Phytolacca icosandra</i> L. *	Queelite, hierba mora	Medicinal, ** Comestible, ** Industrial*** y Tóxico	Hojas, frutos y raíz
<b>Piperaceae</b> <i>Peperomia campylotrapa</i> A. W. Hill.	Pimienta de tierra, ombligo de tierra	Ornamental	No se menciona
<b>Plantaginaceae</b> <i>Penstemon campanulatus</i> (Cav.) Willd.* <i>Penstemon gentianoides</i> (Kunth) Poir. <i>Plantago australis</i> Lam. ssp. <i>hirtella</i> (Kunth) Rahn * <i>Plantago major</i> L.	Perrito, jarritos, cebadilla, campanita Tarritos Lantén, llantén Ulantén, lanté	Ornamental** Ornamental Medicinal Medicinal	Flores No se menciona No se menciona Hojas
<b>Polemoniaceae</b> <i>Loeselia mexicana</i> (Lam.) Brand <i>Polemonium mexicanum</i> Cerv. ex Lag.	Espinosilla No se menciona	Medicinal Ornamental	Ramas y hojas No se menciona
<b>Polygonaceae</b> <i>Polygonum aviculare</i> L. <i>Polygonum hydroperoides</i> Michx. <i>Polygonum punctatum</i> Elliott <i>Rumex crispus</i> L. <i>Rumex obtusifolius</i> L.	Lengua de pájaro Chivillo, achilli Chillo, achillo macho Lengua de vaca Lengua de vaca, cola de zorra	Forrajera Medicinal y Forrajera Forrajera Comestible Medicinal y Forrajera	No se menciona No se menciona Toda la planta No se menciona Toda la planta, raíz y hojas
<b>Portulacaceae</b> <i>Claytonia perfoliata</i> Donn ex Willd. ssp. <i>mexicana</i> (Rydb.) John M. Miller & K.L. Chambers	No se menciona	Medicinal	No se menciona
<b>Ranunculaceae</b> <i>Clematis dioica</i> L. <i>Ranunculus</i> sp.	Barbas de chivo, barbas de viejo Pata de león	Ornamental Medicinal	No se menciona Hojas y tallo
<b>Resedaceae</b> <i>Reseda luteola</i> L.	Gualda	Medicinal e Industrial	No se menciona

\* Especies de plantas útiles mencionadas en la bibliografía consultada y en las ocho encuestas realizadas.

\*\*Uso reportado en bibliografía consultada y en las ocho encuestas. \*\*\*Uso reportado sólo en las ocho encuestas.

Anexo 1. Lista de especies de plantas útiles de la cuenca del río Magdalena. comx (elaboración propia).

DIVISIÓN, FAMILIA Y NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	USOS	PARTE UTILIZADA
<b>MAGNOLIOPHYTA</b>			
<b>Rhamnaceae</b> <i>Ceanothus coeruleus</i> Lag.	Chaquira	Medicinal y Ornamental	No se menciona
<b>Rosaceae</b> <i>Alchemilla aphanoides</i> Mutis ex L. f. <i>Alchemilla procumbens</i> Rose <i>Arnica montana</i> (L.) K. Koch	No se menciona Tlalocoshoshi Membriño cimarrón, duraznillo	Forrajera Medicinal y Forrajera Medicinal, Ornamental, Comestible e Instrumental	No se menciona No se menciona Fruto
<i>Crataegus mexicana</i> Moc. & Sessé ex DC.	Tejocote	Medicinal, Maderable y Comestible	Fruto
<i>Fragaria mexicana</i> Schtdl. *	Fresa silvestre	Medicinal y Comestible**	Fruto
<i>Potentilla canadensis</i> Humb. & Bonpl. ex Nestl. <i>Prunus serotina</i> Ehrh. ssp. <i>capuli</i> (Cav.) McVaugh	Sueda con suelda, sinfito Capulín, cerezo dulce de indias	Medicinal Medicinal, Comestible, Ornamental, Tóxico e Industrial	No se menciona Fruto y semillas
<b>Rubiaceae</b> <i>Bouvardia ternifolia</i> (Cav.) Schtdl.	Trompetilla, sombra de virgen, cigarro	Medicinal y Ornamental	Flores y semillas
<b>Salicaceae</b> <i>Salix paradoxa</i> Kunth	Huejote	Artisanal	No se menciona
<b>Santalaceae</b> <i>Arcanobium vaginatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) J. Presl. *	Muérdago ensano, flor de ocote	Medicinal**	Toda la planta
<b>Scrophulariaceae</b> <i>Buddleja cordata</i> Kunth ssp. <i>cordata</i> Kunth <i>Buddleja parviflora</i> Kunth *	Tepozán blanco, zompantele Tepozán cimarrón, palo blanco	Medicinal, Maderable e Instrumental Medicinal ** y Maderable	Hojas, ramas y tallo Corteza y hojas
<b>Solanaceae</b> <i>Cestrum</i> sp. <i>Datura stramonium</i> L. * <i>Physalis tozomatli</i> Dunal *	Hierba del zopilote Toloache, hierba hedionda Coztomate, tomatillo, tomate agrio	Medicinal Medicinal** y Tóxico** Medicinal, comestible*** y Forrajera	Parte aérea Toda la planta Fruto
<i>Solanum cervantesii</i> Lag. <i>Solanum marginatum</i> L.f.	Hierba del perro, hierba mora Cabalonga, jabalonga	Medicinal Medicinal	Tallo, ramas y hojas No se menciona
<b>Urticaceae</b> <i>Urtica chamaedryoides</i> Pursh	Ortiga	Medicinal	Parte aérea
<b>Verbenaceae</b> <i>Verbena bipinnatifida</i> Nutt. <i>Verbena carolina</i> L.	Moradilla Verbena, hierba de San Juan	Medicinal Medicinal	Hojas Flores
<b>LILIOPSIDA</b>			
<b>Amaryllidaceae</b> <i>Sprekelia formosissima</i> (L.) Herb <i>Zephyranthes carinata</i> Herb. *	Pata de gallo Flor de mayo, mayito, quiebraplato	Ornamental Ornamental**	No se menciona No se menciona
<b>Asparagaceae</b> <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck <i>Furcraea bedinghausii</i> K. Koch *	Maguicy Sishé, yuca, palma, palmilla	Medicinal Ornamental**	No se menciona No se menciona
<b>Bromeliaceae</b> <i>Tillandsia recurvata</i> (L.) L.	Heno chino, galitos	Ornamental	Toda la planta
<b>Commelinaceae</b> <i>Commelina coelestis</i> Willd.	Quesadillas, hierba del pollo	Medicinal y Ornamental	Tallos y hojas
<b>Cyperaceae</b> <i>Cyperus esculentus</i> L. <i>Cyperus hemaphroditus</i> (Jacq.) Standl. <i>Cyperus niger</i> Ruiz & Pav.	Poona, tullito Tule	Comestible y Medicinal Medicinal	Rizoma No se menciona
<b>Poaceae</b> <i>Agropogon conchroides</i> Humb. & Bonpl. ex Willd. <i>Agrostis toluensis</i> Kunth <i>Blepharoneuron tricholepis</i> (Torr.) Nash <i>Brachypodium mexicanum</i> (Roem. & Schult.) Link <i>Calamagrostis toluensis</i> (Kunth) Trin. ex Steud. <i>Cinna poliformis</i> (Kunth) Scribn. & Merr. <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. <i>Festuca amplissima</i> Rupr. <i>Festuca toluensis</i> Kunth <i>Muhlenbergia macrooura</i> (Kunth) Hitchc. * <i>Muhlenbergia nigra</i> Hitchc. <i>Muhlenbergia quadridentata</i> (Kunth) Trin. <i>Poa annua</i> L. <i>Trisetum virlebi</i> E. Fourn.	Zacate No se menciona Popotillo del pinar Sacapillo bromo falso Zacate Zacate, cina Gramma, zacate borrego Zacatón criollo, festuca criolla Zacatón, canuela de toluca Zacatón, raíz de zacatón, zacamalina Zacatón, liendrilla negra Escobilla Espiguilla, pastillo de invierno No se menciona	Forrajera Forrajera Forrajera Forrajera Forrajera Forrajera Forrajera Forrajera Forrajera Forrajera** e Industrial Forrajera Forrajera Forrajera Forrajera	No se menciona No se menciona No se menciona No se menciona No se menciona No se menciona No se menciona No se menciona No se menciona Macollos, culmos y raíz No se menciona Culmos No se menciona No se menciona

\* Especies de plantas útiles mencionadas en la bibliografía consultada y en las ocho encuestas realizadas.

\*\* Uso reportado en bibliografía consultada y en las ocho encuestas. \*\*\* Uso reportado sólo en las ocho encuestas.

## ARQUITECTURA SOSTENIBLE A TRAVÉS DE UN SISTEMA INTEGRAL PARA EL MANEJO DE AGUA EN EL RÍO MAGDALENA

*Faustino Octavio Ruíz Abarca<sup>1\*</sup> y Javier Carmona Jiménez<sup>2</sup>*

### **Introducción**

Actualmente, la sostenibilidad es parte integral de diferentes disciplinas como la arquitectura sostenible y bioclimática, desarrollo ambiental, ecoturismo y diseño ecológico, entre otros. Cada una con su propio significado, aunque, todas están basadas en los mismos elementos y tienen como propósito prevenir el deterioro ambiental, y restablecer la integración de la arquitectura (espacios interiores y exteriores) con los sistemas tecnológicos, usando materiales y técnicas específicas para el uso óptimo de los recursos naturales y de esa manera reducir el impacto negativo sobre ellos.

La arquitectura sostenible se inicia a partir de la crisis energética de los años setenta del siglo pasado, con el propósito de adaptarse lo mejor posible al entorno, mejorar el uso de la energía en las edificaciones y aprovechar de manera racional los recursos naturales.

En varios países se ha legislado en la materia y se han creado organismos encargados de la vigilancia y aplicación de las leyes correspondientes. También han surgido agrupaciones civiles encargadas de normar, evaluar y certificar obras arquitectónicas en diferentes regiones del mundo. De manera simultánea, los responsables del diseño y construcción de espacios habitables externos e internos deben asumir la obligación de conservar el entorno de manera armónica, cumplir con la normatividad, no solamente por respetar la ley, sino por el compromiso moral de detener el daño ambiental (Broto, 2011).

La cuenca del río Magdalena es considerada un área recreativa con un importante valor escénico y de suministro de agua potable para una parte de la población de la delegación (Jujnovsky, 2010). Históricamente se ha convertido en un paseo dominical tradicional al cual acuden familias y grupos de personas que gustan de estar en contacto con la naturaleza. Los antiguos Dinamos se convirtieron en paradas obligadas para los visitantes, primero por su simbolismo en el aprovechamiento de la fuerza del agua para generar la energía eléctrica que abastecía a la industria aguas abajo,

por sus construcciones y por los elementos que las integraban. Posteriormente, sólo quedó la costumbre del paseo y la necesidad creciente que tiene la población del esparcimiento al aire libre. En estos sitios se incrementó gradualmente la venta de alimentos, por lo que se han venido construyendo cabañas a lo largo de río.

Actualmente, es visible el manejo inapropiado que los propietarios y operadores le dan al agua del río, por ésta razón el presente trabajo tiene como propósito plantear alternativas tecnológicas, como ejemplo esta el Sistema Integral para el Manejo de Agua (SIMA), que permitirá mejorar el abastecimiento de agua para las necesidades urbanas y la consecuente mejoría en la calidad ambiental del río Magdalena, a través de la captación de agua pluvial, el tratamiento con fito-depuración de las aguas jabonosas y el abatimiento del volumen de agua en los servicios sanitarios en el paraje Segundo Dinamo. El trabajo se ha iniciado estableciendo un esquema conceptual, con una estructura para su desarrollo de cuatro etapas.

### **Propuesta conceptual del SIMA**

El esquema conceptual del SIMA (Fig. 1) se presenta para el paraje del Segundo Dinamo, se plantea un proyecto integral con la participación conjunta de los actores sociales que intervienen en el sitio, donde se propone un sistema constructivo adecuado a las condiciones del sitio, que funcione como modelo para la conservación del río Magdalena, para el desarrollo sostenible del área y para la promoción de la educación ambiental. El esquema consta de cuatro etapas, que se describen a continuación:



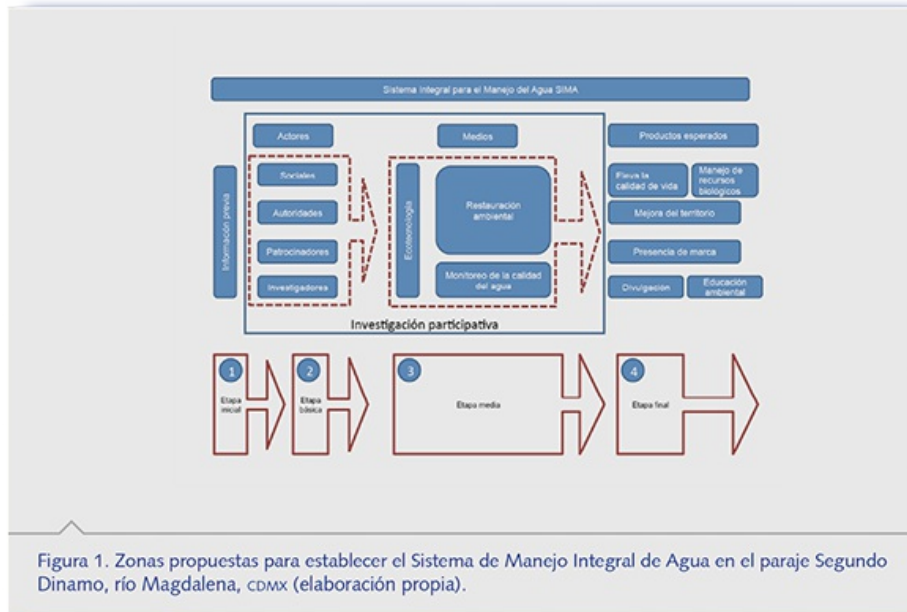


Figura 1. Zonas propuestas para establecer el Sistema de Manejo Integral de Agua en el paraje Segundo Dinamo, río Magdalena, CDMX (elaboración propia).

Figura 1

## Primera etapa

Corresponde a la selección del sitio de referencia para el desarrollo del proyecto. El río Magdalena cuenta con una caracterización geomorfológica y de uso de suelo, que permite identificar los sitios que están deteriorados por las actividades humanas (Jujnovsky *et al.*, 2010). Entre los sitios que tienen mayor actividad recreativa se encuentra el Segundo Dinamo, el cual formó parte del plan maestro original de un parque ecoturístico que consideraba tres plazas en el sitio (Delegación Magdalena Contreras, 1997). La primera con cabañas destinadas para la preparación y expedición de alimentos; la segunda, con cabañas que funcionaban como módulos sanitarios tradicionales, que actualmente utilizan fosas sépticas; y la tercera con cabañas que funcionaban como bodegas. Actualmente, el sitio es denominado "Plaza Familiar" y consta de 10 cabañas destinadas para la venta de alimentos y como bodegas (Fig. 2). Asociadas a las cabañas se construyeron módulos sanitarios tradicionales, los cuales se utilizan actualmente con fosas sépticas.

La gestión del proyecto fue incluyente y consideró la participación social en todo el diagnóstico. Por lo que los propietarios y comerciantes se integraron desde el inicio de la investigación ya que es indispensable que conozcan, operen y monitoreen las técnicas de operación del SIMA. Además, es importante la participación de las autoridades que intervienen

en el programa y posibles instituciones gubernamentales, delegacionales y federales que vigilen y cofinancien el proyecto con el apoyo de otras instituciones y de la iniciativa privada. Actualmente, el proyecto SIMA requiere el financiamiento para la ejecución de obra.



Figura 2

## Segunda etapa

### *Cálculo de consumo y propuesta de ecotécnicas*

Primero, se calculó numéricamente el consumo de agua semanal por cabaña, posteriormente se entrevistaron a los propietarios y se elaboró un diagnóstico sobre la calidad del agua y del ecosistema de ribera para confirmar el estado de conservación del sitio. Además, se detectaron las edificaciones y las actividades que contribuyen al deterioro del río. En dichas edificaciones se entrevistó a los operadores y se recabó información sobre las necesidades hídricas. En cada entrevista se tomaron los datos de consumo de agua del establecimiento durante siete días de la semana (Tabla 1). Debe destacarse que los entrevistados reportaron que la mayor afluencia de visitantes ocurre el fin de semana, y se extrapolaron al total del número de cabañas de la “Plaza Familiar” a lo largo de un año. Los datos obtenidos permitieron estimar el requerimiento anual de agua para esta área. Con el volumen obtenido, se proyectaron las cisternas y camas de evaporación y transpiración.

El Segundo Dinamo es un sitio con una intensa actividad humana, la

cual está relacionada con la contaminación visual del río y del bosque. Por un lado, se encuentran cabañas que funcionan como establos o corrales, otras más están abandonadas y algunas otras son utilizadas como comedores. También se observó que se han construido nuevas cabañas cuyas dimensiones, imagen y utilización de materiales es discordante con las originales, su ubicación es arbitraria y sin orden aparente respecto al plan maestro inicial. Muchas de estas cabañas carecen de mantenimiento y algunas se encuentran casi destruidas. La imagen del conjunto es confusa y desordenada, el uso excesivo y mal distribuido de la publicidad contrastan fuertemente con la armonía del paisaje natural circundante. El diseño original del Parque Ecoturístico contemplaba las cabañas como unidad de servicios para la preparación y expedición de alimentos, sin embargo, además de usos ya mencionados, se detectaron otros, como el de tienda, incluso un nuevo uso de suelo para el cultivo y construcción de estanques para el cultivo de trucha. Actualmente, el manejo que se hace de los ecosistemas acuático y terrestre es inadecuado debido a que las actividades de los prestadores de servicios y los visitantes de las cabañas deterioran la zona de manera indiscriminada. En apariencia, el suministro de agua es infinito ya que el caudal del río es permanente, sin embargo, los comerciantes vierten basura y agua sucia al río, haciéndola no apta para el consumo o contacto directo humano (Cantoral *et al.*, 1999; Jujnovsky *et al.*, 2010).

#### **Tabla 1**

Tabla 1. Estimación actual del consumo de agua (en litros) en las cabañas rústicas en la plaza familiar del Segundo Dinamo, río Magdalena, CDMX (elaboración propia).

	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	SUMA
<b>Cabañas</b>								
1	-	-	-	-	-	160	260	420
2	-	-	-	-	-	240	400	640
3	160	-	-	160	-	470	470	1260
4	100	100	100	100	100	270	270	1040
5	-	-	-	-	-	200	200	400
6	-	-	-	-	-	450	450	900
7	-	-	-	-	-	50	50	100
8	230	-	-	-	-	230	230	690
9	-	-	-	-	-	200	200	400
10	-	-	-	-	-	300	300	600
	Litros por semana en cabañas							6450
<b>Sanitarios</b>								
1	-	-	-	-	-	600	900	1500
2	-	-	-	-	-	360	1200	1560
3	-	-	-	-	-	360	1200	1560
	Litros por semana en sanitarios							4620
	Subtotal cabañas + sanitarios							11070
	Semanas al año							52
	Total de consumo anual							575.64

De acuerdo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF, Gobierno del Distrito Federal, 2004), el suministro de agua para comensales en restaurantes es de 12 litros al día, no obstante, al no contar con el número de visitantes por cabaña se decidió extrapolar el gasto actual por número de cabaña durante todo el año (Tabla 1). Con respecto a los muebles sanitarios de la cabaña de los sanitarios, se cuantificó una dotación mínima de 300 litros por mueble por día, lo que supera el intervalo de captación y almacenamiento. Es por ello que fueron integrados a la propuesta los sanitarios secos, que tienen grandes ventajas comparados con los sistemas tradicionales, uno de ellas es el consumo mínimo de agua. Estimaciones propias de los autores consideran 500 ml por descarga, (una descarga equivale a un uso por persona) para facilitar y enjuagar los muebles de líquidos. Lo anterior permite que la inversión para la construcción y operación se amortice en pocos años.

Las obras de toma de agua, así como las instalaciones hidráulicas de distribución y suministro, estuvieron fuera de las normas técnicas para diseño arquitectónico que establece el RCDF (Fig. 3). Las primeras se localizaron en diferentes puntos que resultaron estratégicos para los operadores, los cuales presuponen que al tomar agua directa del río, ésta es potable. Las redes de distribución se encontraron someras o sobre la superficie, con riesgo permanente de ruptura de los ductos y el consecuente desperdicio y contaminación del agua. Los registros y redes

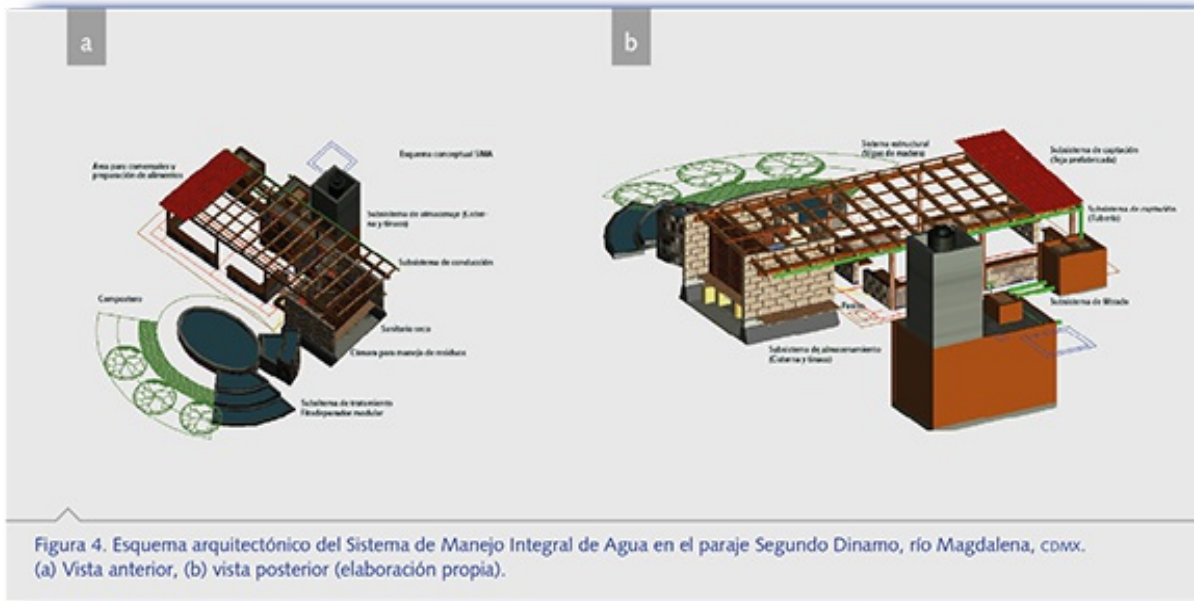
de distribución y control del agua del río no recibieron tratamiento alguno de purificación, filtrado o potabilización, lo que representa un riesgo para la salud de los comensales que consumen alimentos en las cabañas.

**Figura 3**



Con respecto a la estructura arquitectónica existente en el Segundo Dinamo, ésta ofreció una base para desarrollar la propuesta para la cosecha de agua de lluvia, su almacenamiento, filtración, potabilización y la depuración de aguas servidas. La versión constructiva del SIMA propone construir iniciando por un módulo o célula en el cual se integró el comedor con el área de los servicios sanitarios, separadas por un vestíbulo de acceso que permite la ventilación y separación de los espacios. En la zona posterior, se localizó el sistema de filtrado, almacenamiento y distribución de agua (Fig. 4a y b).

**Figuras 4**



## Tercera etapa

### *Diseño arquitectónico y monitoreo*

Consistió en definir el concepto de diseño y anteproyecto, la integración es el eje rector del proyecto: se inició con la incorporación de la arquitectura de paisaje, materiales y procedimientos constructivos con el entorno natural donde se localiza el proyecto. Algunas cabañas estaban funcionando y algunas de ellas presentaban techos destruidos parcial o total, lo cual permitió realizar propuestas técnicas y de imagen diferencial. El diagnóstico evaluó la viabilidad arquitectónica, se identificaron columnas y muros en buen estado de conservación y la estabilidad estructural. Además, se diagnosticaron los firmes y pisos que presentaban deterioro estructural por desgaste y falta de mantenimiento. Como ya se mencionó, para la rehabilitación de las estructuras arquitectónicas existentes se considera la sustitución del firme actual por uno nuevo y de las vigas del techo y la colocación de una nueva cubierta que proteja a los usuarios y que cuente con características óptimas para la captación de agua de lluvia, la nueva instalación hidráulica es más grande y más compleja porque se integra el sistema de captación de agua de lluvia, el subsistema de almacenamiento y el subsistema de fito-depuración, en la cubierta se ubican paneles solares que generan energía eléctrica.

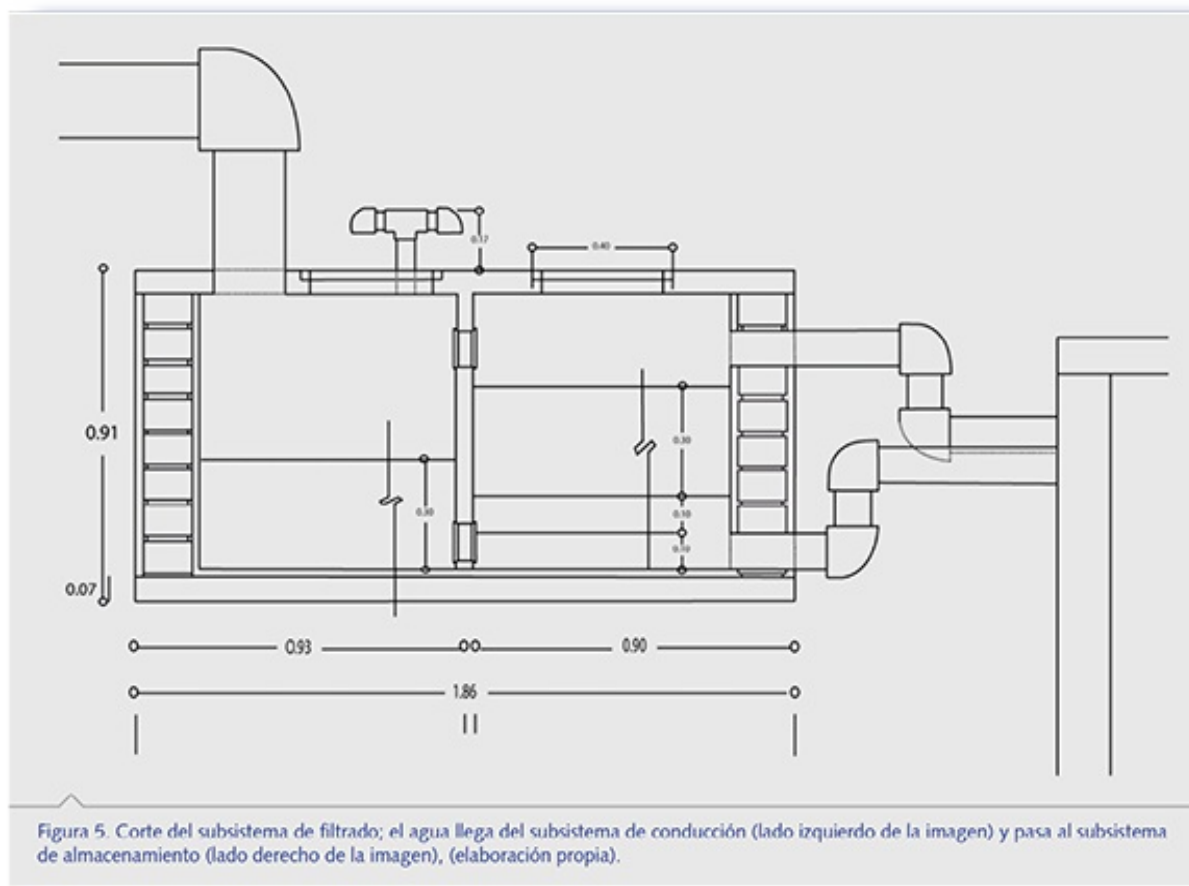
El agua de lluvia se captura en el techo de la construcción y es conducida a un filtro de agregados pétreos de diferentes diámetros cuya

función es atrapar las partículas mayores acumuladas en el techo y que se arrastran con la lluvia. Posteriormente el agua es almacenada en una cisterna y se puede distribuir a los sitios que se requiera. Para el consumo humano, el agua debe pasar por un segundo filtrado, que consiste de filtros finos que retienen partículas diminutas, luz ultravioleta, ozono y/o carbón activado. Esta fase se localiza en la zona de preparación de alimentos.

El tratamiento de agua residual que proviene de lavabos y tarjas se realiza con camas de evapotranspiración o fito-depuradores, los cuales promueven la actividad microbiana, la circulación de nutrientes y la consecuente descomposición de las partículas suspendidas en el agua. Sumando al proyecto de rehabilitación de las cabañas, para la cuarta etapa (aún no comenzada) se tiene contemplada la elaboración del manual de operación del fito-depurador. Los desechos orgánicos serán separados para la elaboración de composta (sólida y líquida) y su empleo como fertilizante de especies forestales, frutales y hortalizas. Asimismo, se propone una composta para los manejos de los desechos sólidos orgánicos que se producen en la preparación de alimentos y el sanitario seco, además del producto de poda de plantas ornamentales del propio núcleo de cabañas. Otros productos serán el manual de operación de los sanitarios secos y las recomendaciones del manejo de fertilizantes orgánicos.

Respecto al sistema constructivo del SIMA, se incluyó un sub-sistema de captación y un sub-sistema de conducción. En este caso, se propuso el techo de una sola caída para facilitar las maniobras de conducción de agua en un solo lado, el cual se construye con lámina acanalada prefabricada tipo Mexalit<sup>MR</sup> o similar, para integrarse con la imagen de las tejas en las demás cabañas que no han sido intervenidas, además de que es un sistema constructivo sencillo y que permite sellar de manera apropiada las juntas y evitar la pérdida de agua. En el extremo más bajo del techo se instala una canaleta que se conecta a la bajante, cuyo extremo final remata en el filtro de agregados pétreos. El sub-sistema de filtrado (Fig. 5) se integró por una caja con dos compartimientos, dentro de los cuales se colocaron agregados desde diámetros gruesos hasta diámetros pequeños, comenzando con tezontle de 4" a 8" de diámetro y terminando con arena de construcción, cuya función es disminuir la fuerza del agua y retener los sólidos gruesos, separados con geotextiles para evitar que se mezclen. Las cámaras se

encuentran conectadas con tubería de PVC hidráulico.



**Figura 5**

Para contar con agua durante la temporada de secas, es importante que se guarden los excedentes de la época de lluvia en el sub-sistema de almacenaje. Se calculó el volumen de la cisterna tomando como base la relación costo-beneficio para conservar un volumen importante de agua y que la obra sea factible de financiar y construir. Los materiales para su construcción son de uso común: cimentación, muros y tapa losa de concreto armado, con un brocal para que el registro quede sobre el nivel de piso terminado y de esta manera hacer viable la naturación en la losa de la cisterna. Presenta respiradero y la línea de llegada del agua. Es importante mencionar que el agua deberá estar en constante movimiento, para evitar la formación de colonias de bacterias y que ésta se contamine y genere mal olor. Por esta razón la pichanca queda en la parte más baja del cárcamo de bombeo de la cisterna y se recomienda que el agua se consuma antes de iniciar la siguiente temporada de lluvias o cuando menos al inicio de la misma para permitir el lavado del interior, piso, muro y techo, así como



dar mantenimiento al equipo hidráulico y eléctrico. El sub-sistema de distribución considera el establecimiento de un sistema tradicional que bombea agua al tinaco y la distribuye por gravedad hacia las tarjas de la cocina y de los sanitarios. La circulación del agua continúa después de ser usada, en el sub-sistema de fito-depuración (Fig. 6), el cual está compuesto por camas de agregados pétreos con diferente granulometría que forma una cama de sustrato sobre la cual se colocan especies vegetales higrófitas, mesófitas y se inoculan bacterias que descomponen los fosfatos y sulfatos que contienen las aguas servidas o jabonosas provenientes de la cocina y lavabos de sanitarios en sustancias que pueden ser absorbidas por las plantas a manera de nutrientes (Luna y Ramírez, 2004). El agua permanece por varios días dentro de las camas y al final se reintegra al río o pozos de absorción, dependiendo del emplazamiento final del sistema.

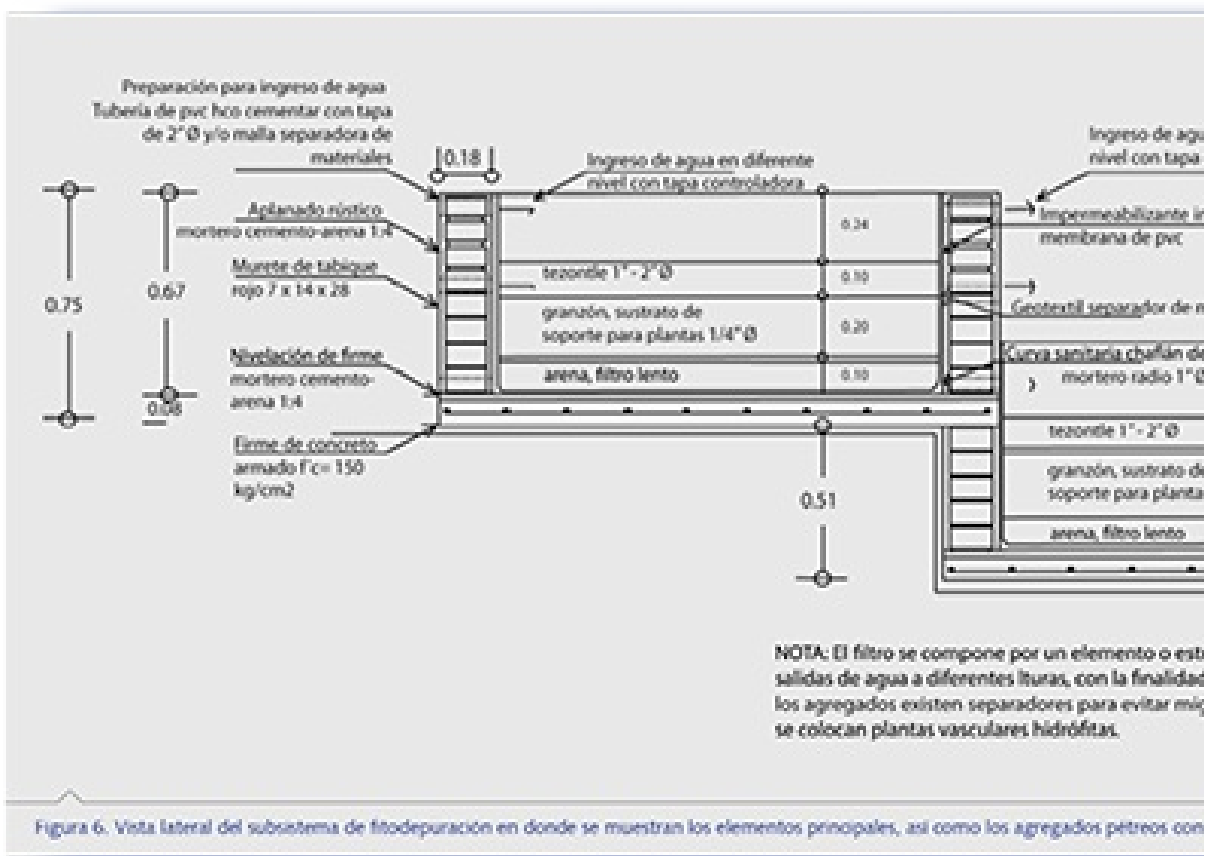


Figura 6

#### Cuarta etapa

Finalmente, cuando se rehabiliten las construcciones del Segundo Dinamo y se complete el sistema constructivo del SIMA, se propone la evaluación

de la operación y de la calidad físico-química y biológica del agua. La continua evaluación del SIMA permitirá confirmar o ajustar el dispositivo en el resto de las cabañas. Se podrá conocer cómo se ha beneficiado la comunidad, tanto los operadores, como propietarios, usuarios finales y vecinos de las zonas cercanas. También corresponde evaluar el manejo de los recursos naturales y su aprovechamiento, el estado de conservación de los mismos a través de instrumentos de medición y de manera simultánea publicar y transmitir los conocimientos adquiridos con la experiencia de desarrollar un proyecto de arquitectura sostenible multidisciplinario, que a su vez identifique cuáles son las características óptimas de diseño, construcción y operación que permita replicarlo en conjunto, trabajando a una escala mayor con el apoyo de instituciones públicas y/o privadas.

### **Consideraciones finales y perspectivas**

El Segundo Dinamo presenta una importante alteración al ecosistema acuático, por lo que el consumo directo del agua del río representa riesgos para la salud. En dicho sitio existe un deficiente servicio de sanitarios, el agua se desperdicia y se contamina notablemente; la imagen de paisaje está contaminada por lonas, letreros, mobiliario y construcciones con poca o nula atención al medio natural en donde se localizan y se ofrece a los comensales alimentos en cuyo proceso de preparación se utiliza agua contaminada. Vale la pena hacer la pregunta siguiente: ¿Cuál es la percepción del visitante al acudir a un corredor ecoturístico y observar el derroche, contaminación y uso inapropiado del agua, en una ciudad en donde, justamente, el suministro de agua es uno de los principales problemas para miles e incluso millones de habitantes?

De continuar con la tendencia actual se acentuará el deterioro ambiental del sitio y será más difícil mitigar o revertir el daño. Esta situación podría detenerse si se conceptualiza el manejo del ambiente y sus servicios ecosistémicos desde otra perspectiva, visualizando un uso óptimo que garantice el menor daño posible a los ecosistemas acuático y terrestres (Ruíz y Carmona, 2013).

El proyecto SIMA pretende ser una solución a una parte de los problemas evidentes de contaminación en el río Magdalena, a través de la educación ambiental y la transferencia de tecnología a los diferentes actores sociales e institucionales que participan directamente en las

actividades turísticas. Es necesario que los actores sociales, políticos y científicos establezcan acuerdos y definan planes orientados a la valoración, respeto y manejo de los recursos de los que se disponen en el área. El proyecto propone el empleo del agua de lluvia para consumo humano, lo que se justifica por las razones siguientes: es una fuente primaria de abastecimiento pues el agua se capta en el sitio en donde se necesita; según los estudios de (Baez *et al.*, 2006; Jujnovsky *et al.*, 2010), la calidad del agua de lluvia puede ser mejor que la del río en el tramo mencionado: generalmente carece de bacterias y su disponibilidad es inmediata; se utilizan técnicas sencillas para instalaciones hidráulicas que son de bajo costo (Ruiz, 2010); el volumen excedente de captación se canaliza al río o al subsuelo; se evita usar agua del río para la preparación de alimentos y para su uso en sanitarios; y la imagen arquitectónica y paisajística del sistema puede ser congruente con el concepto y el entorno.

### **Literatura citada**

- Báez, A. P., *et al.*, 2006. Chemical composition of rainwater collected at a southwest site of Mexico City, Mexico. *Atmospheric Research*, 80, pp. 61-75.
- Broto, C., 2011. *Arquitectura sostenible: innovación y diseño*. España: Links.
- Cantoral, U.E., *et al.*, 1999. Algas indicadoras de la calidad del agua en el río la Magdalena, Delegación Magdalena Contreras, Distrito Federal, México. En: N.D. Ponce y Alegre, G.M.V., eds. *Consejo de Estudios Para la Restauración y Valoración Ambiental (Aire-Agua)*. México. Gobierno del Distrito Federal. pp. 300-332.
- Delegación Magdalena Contreras., 1997. *Parque Ecoturístico Los Dínamos*. México: Delegación Magdalena Contreras.
- Gobierno del Distrito Federal, 2004. *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. México, Normas de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal*. México: Gobierno del Distrito Federal.
- Luna, P.V. y Ramirez, F., 2004. Medios de soporte alternativos para la remoción de fósforo en humedales artificiales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 20 (1), pp. 31-38.
- Jujnovsky J., *et al.*, 2010. Servicios ecosistémicos hidrológicos: calidad y

cantidad del agua en el Río Magdalena, Ciudad de México. *Hidrobiológica*, 20(2), pp. 113-126.

Ruiz, A.O., 2010. Manejo de agua de lluvia. En: R. Lópezde Juambelz, ed. *Naturación de azoteas*. México: Ediciones de la Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 29-35.

Ruíz, A.O. y Carmona, J., 2013. Del mito a la realidad. El manejo del agua de lluvia en la Ciudad de México. *Ciencias*, 107-108, pp. 38-45.

---

<sup>1</sup> Unidad Académica de Arquitectura de Paisaje. Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>2</sup> Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

Correo electrónico autor de correspondencia: \*oruizpsj@unam.mx.

## ¿QUÉ SON Y CÓMO FUNCIONAN LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA?

*Julieta Jujnovsky Orlandini<sup>1\*</sup> y Lucía Almeida Leñero<sup>1</sup>*

### **Los sistemas socio-ecológicos y los servicios ecosistémicos**

La comprensión de los procesos que conducen a cambios en los ecosistemas es limitada, porque las distintas disciplinas científicas utilizan conceptos y lenguajes diferentes para describir y explicar los sistemas socio-ecológicos (SSE). El conocimiento científico es necesario para mejorar los esfuerzos de conservación de los SSE, pero la integración de las ciencias sociales y ambientales no es sencilla. Si no se construye un marco conceptual común entre la esfera social y la ambiental, únicamente se seguirá generando conocimiento de manera aislada (Ostrom, 2009). Afortunadamente, desde inicios de este siglo se realizan esfuerzos conjuntos entre científicos, países e instituciones que buscan aplicar la información científica básica y comprender las consecuencias que el uso inadecuado de los recursos naturales trae sobre el bienestar humano (MA, 2003; GLP, 2005; IGBP, 2006; Ostrom, 2009).

Uno de los mayores esfuerzos de colaboración internacional para evaluar el estado de salud del planeta es el Millennium Ecosystem Assessment (MA, 2003). Esta iniciativa surgió en la Asamblea General de las Naciones Unidas, en el año 2000, debido a la creciente preocupación sobre el incremento de la pobreza mundial y el deterioro global del ambiente. A partir de ello se generó un documento elaborado por científicos de todo el mundo y avalado por la Organización de las Naciones Unidas, que busca establecer un equilibrio entre la conservación de los ecosistemas y el bienestar humano. El marco conceptual del MA se publicó en 2003 y los primeros reportes de evaluación sobre el estado de los ecosistemas del mundo comenzaron en 2005.

A pesar de los esfuerzos internacionales para evaluar al sistema terrestre de manera global, en regiones como México, donde aún falta generar gran cantidad de información básica y la que existe se encuentra a distintas escalas temporales y espaciales, resulta muy complicado desarrollar proyectos integrales en especial en un ecosistema en particular. Los estudios realizados desde la perspectiva de los servicios ecosistémicos

(SE) pueden ser un marco de referencia común que permita visualizar integralmente los beneficios que los seres humanos obtienen de los sistemas socio-ecológicos.

### ***Un poco de historia***

El concepto de servicios ecosistémicos (SE) surgió en la década de 1960 y resaltó la relación del ser humano con su entorno natural (Daily *et al.*, 1997; MA, 2005; Balvanera y Cotler, 2007). La noción de recibir beneficios por parte de los ecosistemas no es nueva (Mooney y Ehrlich, 1997; Fisher *et al.*, 2009), estos beneficios se han definido en múltiples ocasiones y estas definiciones cambian en función del contexto en el que se emplean. (Daily, 1997) es una de las primeras autoras en usar el término y los define como las condiciones y procesos, a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies que los conforman, sostienen y nutren la vida humana. Otros autores han propuesto definiciones parecidas que incluyen tanto el bienestar humano como el papel que juegan los ecosistemas en la provisión de dichos servicios (Costanza *et al.*, 1997; De Groot *et al.*, 2002; Kremen, 2005; Quétier *et al.*, 2007; Boyd y Banzaf, 2007; Dale y Polasky, 2007). No obstante, una definición sencilla y ampliamente usada es la del MA (2003), que concibe a los SE como los beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas. También se han propuesto diversas clasificaciones (Postel y Carpenter, 1997; De Groot *et al.*, 2002; MA, 2003; Brauman *et al.*, 2007) y aunque se ha intentado generar una clasificación de consenso, no se han logrado establecer acuerdos (Fisher *et al.*, 2009). En este capítulo se parte de la clasificación del MA (2003), en el que los servicios ecosistémicos se dividen en cuatro categorías: de provisión, de regulación, culturales y de soporte.

Los *servicios de provisión* son los productos obtenidos directamente del ecosistema, es decir, los bienes tangibles o productos finitos (aunque renovables) de apropiación directa. Se pueden medir, cuantificar e incluso valorar económicamente. Por su parte, los *servicios de regulación* son los mecanismos que, como su nombre lo indica, regulan procesos dentro de los ecosistemas (como las inundaciones o el clima) y benefician al entorno en el que se desarrolla la población humana. En lo que concierne a los *servicios culturales*, éstos son beneficios intangibles (no materiales) que las sociedades obtienen de los ecosistemas. Son fuente de inspiración para

el ser humano y dependen del contexto cultural, por lo que son subjetivos, pero no por ello menos valiosos. Finalmente, los *servicios de soporte* son aquellos que permiten el mantenimiento de todos los demás servicios; se trata de procesos básicos de estructura y control que mantienen al ecosistema funcionando.

Es importante aclarar que los términos “servicio ecosistémico” y “servicio ambiental” pueden ser utilizados indistintamente, aunque difieren en cuanto a su contexto. Cuando se utiliza el primero se hace énfasis en que es el ecosistema, es decir, el conjunto de organismos, las condiciones abióticas y sus interacciones, lo que permite que los seres humanos se vean beneficiados. En cambio el término “servicios ambientales” se ha utilizado principalmente entre tomadores de decisiones y otorga más peso al concepto de “ambiente” o “medio ambiente” en el cual no se explicitan las interacciones necesarias para proveer dichos servicios (Balvanera y Cotler, 2007).

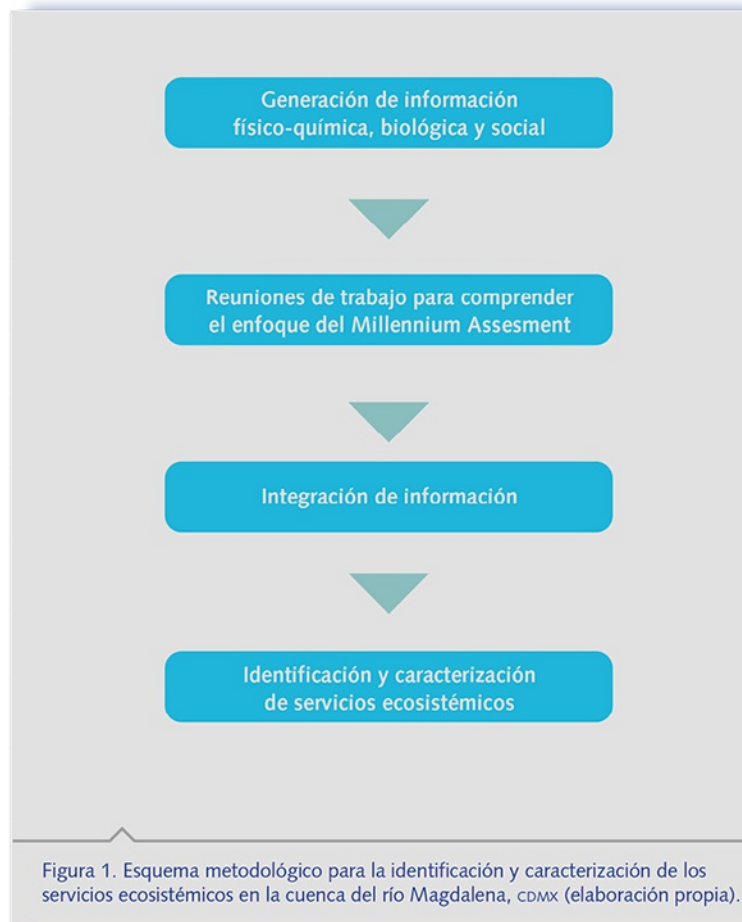
Existen factores que afectan a los ecosistemas y, por lo tanto, a la provisión de servicios que éstos nos proporcionan. Dichos factores pueden ser fuerzas naturales o inducidas por el ser humano. El MA (2005) ha definido a los impulsores de cambio como cualquier factor, natural o antropogénico, que causa un cambio directo o indirecto al ecosistema. Aún no se conoce a profundidad el impacto que las distintas técnicas de manejo ocasionan en los ecosistemas y en la provisión de servicios, por ello, resulta prioritario conocer cómo un cambio en los SE afecta el medio de vida de los seres humanos (GLP, 2005; Carpenter *et al.*, 2009). Éste no es un problema reciente, en diferentes ocasiones se ha manifestado la falta de coordinación entre el desarrollo socio-económico y cultural y la protección ambiental (Leff, 2004). Además, este problema ya no se restringe a una población local, sino que ha adquirido un carácter global (Vitousek *et al.*, 1997). De ahí la importancia de saber manejar los ecosistemas y sus servicios para garantizar que sigan existiendo en el futuro, sin minar la posibilidad del desarrollo de la sociedad. Por lo tanto, para generar propuestas de manejo de ecosistemas en la cuenca del río Magdalena es fundamental identificar y caracterizar los servicios ecosistémicos que ésta proporciona a los habitantes de la Ciudad de México.

## **Identificación y caracterización de los principales servicios**

## **ecosistémicos de la cuenca del río Magdalena**

La identificación de los servicios ecosistémicos está basada en investigación básica y aplicada inédita, generada previamente por especialistas en las materias siguientes: *biodiversidad de hongos, ecología y ecofisiología de algas, ecosistemas de montaña, ecología de suelos, dinámica de comunidades y museo de zoología*; todos ellos pertenecientes a la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Con dichos grupos de investigación se realizaron talleres para comprender y unificar el marco conceptual. Posteriormente se integraron los datos más relevantes para finalmente traducir dicha información en términos de servicios ecosistémicos. Dado el enfoque interdisciplinario de este trabajo, los datos presentados en este capítulo se expresan a diferentes escalas de tiempo, espacio y nivel de detalle, dependiendo del avance en la investigación que cada grupo de trabajo tenía en el momento de realización de los talleres. El orden de cómo se construyó el esquema de trabajo se representa en la figura 1. Con los avances realizados hasta el momento, se cuenta con conocimientos acerca de los componentes y procesos de los ecosistemas y de los vínculos que existen entre éstos y el bienestar humano, lo cual permitirá enriquecer e incorporar mayores elementos en la toma de decisiones.





**Figura 1**

Para identificar y caracterizar los servicios ecosistémicos de manera espacial, se dividió en función de las comunidades vegetales y la altitud, a la zona natural de la cuenca en tres grandes unidades: la parte alta (3 500-3 800 msnm) caracterizada por la comunidad pino de las alturas [*Pinus hartwegii* (Lindley)], la zona media (3 000-3 500 msnm) por la comunidad de oyamel [*Abies religiosa* (Kunth Schltl. Et Cham)] y la parte baja (2 500-3 000 msnm) por la comunidad de bosque mixto y de encino (*Quercus* sp.). La zona urbana se considera desde el pueblo de la Magdalena, justo en el límite de la zona boscosa, hasta el entubamiento del río en los Viveros de Coyoacán.

### **Identificación de servicios ecosistémicos**

Para la CRM se reconocieron y caracterizaron 19 servicios ecosistémicos: cinco de provisión, ocho de regulación, tres culturales y tres de soporte (Fig. 2).



**Figura 2**

### ***Servicios de provisión***

*Agua dulce.* La provisión de agua es uno de los servicios más importantes de la CRM, ya que el río Magdalena es el abastecimiento de agua superficial más importante de la ciudad. Se ha estimado que esta cuenca provee 21 millones de m<sup>3</sup> de agua al año, con un caudal promedio de 0.70 m<sup>3</sup>/s (Fig 3). La mayor parte del agua (80.65%) escurre en las capas subsuperficiales o subterráneas del suelo, mientras que sólo 19.35% lo hace de manera superficial (González-Martínez, 2008; Jujnovsky *et al.*, 2010). Esto se debe a que la vegetación de la cuenca permite la infiltración del agua al subsuelo. El agua se consume, tanto directamente del río sin ningún proceso de purificación, como a través del sistema de distribución de agua potable de la ciudad, al que se incorpora una vez filtrada en la planta potabilizadora. El consumo directo del río lo realizan los comuneros de la zona, muchos cuentan con puestos de comida; ellos la utilizan para los servicios de la vivienda y estanques de engorda de trucha, entre otros.

En la zona urbana, particularmente en el noroeste de la delegación La Magdalena Contreras, existen 78 476 beneficiarios que reciben el agua del río. De éstos, 40% se ubican colindantes al mismo, mientras que más de 50% se localizan a mayor altitud, por lo que se les envía el agua por bombeo. Se han realizado cálculos que confirman que el río podría abastecer a una población mucho mayor, dado que dos terceras partes del cauce se dirige al drenaje (Jujnovsky *et al.*, 2010), pues la planta potabilizadora sólo tiene capacidad para 200 l/s. Así, el resto del agua es entubada para formar parte del drenaje hacia la presa Anzaldo. Este es el

tipo de políticas de manejo del agua que se debe comenzar a revertir para lograr un mejor aprovechamiento de este apreciable líquido.



**Figura 3**

*Madera, combustible y productos no maderables.* Estos servicios de provisión dependen de las zonas forestales (con vegetación arbórea), por lo que se generan primordialmente en las zonas mejor conservadas y benefician a las zonas rurales. La extracción de madera no ha representado una actividad económicamente importante, ya que la leña es utilizada a pequeña escala, principalmente para calentar las estufas de los negocios de comida y de sus hogares. Aunque esto se da a pequeña escala, pues la mayoría de los habitantes del pueblo de la Magdalena y sus alrededores cuentan con gas natural para cocinar (INEGI, 2000). Entre los productos no maderables se aprovechan algunas plantas para fabricar escobas, se recogen bellotas de los encinos, conos de pinos y oyameles para elaborar adornos y se aprovechan el heno y el musgo en la temporada navideña.

*Alimento.* De acuerdo con las observaciones y estudios realizados en la zona, existen varios grupos que podrían constituir servicios de provisión de alimento. Hasta la fecha se han registrado 187 plantas útiles en la CRM,

25 de las cuales son comestibles. En cuanto a los hongos, se tiene registro de 12 especies comestibles en la comunidad de pino (*Pinus hartwegii*), nueve en la de oyamel (*Abies religiosa*) y 15 en el bosque mixto y de encino. Respecto a la fauna, se han reportado dos especies de codornices con potencial de ser utilizadas como alimento. En temporada de lluvias se pueden encontrar truchas, éstas son criadas por siete grupos familiares, que extraen entre 25 y 40 toneladas al año en promedio.

*Productos medicinales.* Esta zona también provee productos medicinales, entre los que se encuentran 143 especies de plantas con propiedades curativas. Entre las más importantes están las que sirven para curar infecciones de los aparatos digestivo, respiratorio, urinario e infecciones de la piel (Hernández-Sánchez, 2009). Todas ellas ubicadas en las zonas altas y bien conservadas de la cuenca. A su vez, se tiene una primera aproximación sobre el uso de aves (golondrinas y vencejos) que podrían utilizarse para el mismo fin.

*Recursos genéticos.* La variedad de genes entre y dentro de las especies es reflejo de la biodiversidad. Así, las zonas donde se presenta una alta diversidad tendrán una gran variedad de recursos genéticos, los cuales permiten a las especies adaptarse a nuevas situaciones, defenderse de plagas o enfermedades y ajustarse a los cambios en el ambiente. Se tiene registro de 1 060 especies entre las que se incluyen algas, plantas, hongos y vertebrados; además, se calcula que en la demarcación política existen entre 1 000 a 1 500 especies que aún no se han registrado. En el caso de los hongos macroscópicos, se tienen identificadas 108 especies en la comunidad de pino (*Pinus hartwegii*), 115 especies en la de oyamel (*Abies religiosa*) y 168 en la de bosque mixto. Por otra parte, se han encontrado cuatro órdenes, seis familias y seis géneros de hongos micorrizógenos que forman parte de los microorganismos del suelo y tienen efectos positivos en el establecimiento, crecimiento y supervivencia de las plantas. Además, la riqueza de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) en las comunidades de bosque mixto y de encino está integrada por 10 especies pertenecientes a géneros como *Glomus* y *Acaulospora*. En lo que respecta a la vegetación, se encuentran alrededor de 21 especies arbóreas, entre las que destacan los pinos (*Pinus*), con nueve especies; los oyameles (*Abies*); los encinos (*Quercus*), al parecer con tres especies y los ailes

(Aile) con dos especies, entre otras. Particularmente para especies de fauna, la CRM cuenta con importantes recursos genéticos de especies que se encuentran amenazadas o en peligro de extinción, como la serpiente de cascabel [*Crotalus transversus* (Taylor)], el gorrión serrano [*Xenospiza baileyi* (Bangs)] y el conejo zacatuche [*Romerolagus diazi* (Díaz)].

### ***Servicios de regulación***

***Control de plagas y enfermedades.*** Se tienen registradas cinco especies de pájaros carpinteros y una especie carroñera que ayudan a controlar las plagas en la CRM. A su vez, algunas especies de hongos también forman parte del control de enfermedades, de las cuales se han reportado 33 especies en la comunidad de *Pinus hartwegii*, 38 en la de *Abies religiosa* y 42 especies en la de bosque mixto y de *Quercus*.

***Control de deslaves e inundaciones.*** La vegetación de la CRM es fundamental para el mantenimiento de este servicio, ya que las raíces ayudan a mantener el suelo y contribuyen con la infiltración, lo que es indispensable para el balance hidrológico local. Los suelos son muy permeables, por lo que la vegetación es indispensable para reducir el escurrimiento superficial de forma tal que el suelo no se sature, se desplace y se pierda. Este servicio se genera y brinda sus beneficios principalmente en la comunidad de oyamel (*Abies religiosa*), cuyas laderas son pronunciadas (mayores a 30°; Jujnovsky, 2006). Los deslaves pueden ocurrir donde hay deforestación por asentamientos irregulares, así como en grandes áreas en las que se ha desarrollado la construcción de infraestructura, como caminos. Este fenómeno también se puede dar por la caída de árboles a causa del viento o del agua. Los escurrimientos máximos registrados para la zona son del orden de los 3 o 4 m<sup>3</sup>/s y se dan entre los meses de julio y octubre, aunque puede haber eventos de tormenta que lleguen hasta 11 m<sup>3</sup>/s. Es en esta época cuando el servicio ecosistémico de control de inundaciones es más importante, sobre todo para la comunidad de bosque mixto y de *Quercus*, ya que son las zonas más bajas. Este servicio ecosistémico se ha visto afectado por la deforestación, las obras sobre el cauce del río y las viviendas irregulares asentadas a menos de 5 m a cada lado del cauce. Esto hace que en eventos de tormenta el río se desborde, afectando muchas viviendas desde el pueblo de la Magdalena hasta la presa Anzaldo.

*Regulación de la erosión.* La erosión del suelo, aunque no es tan drástica como los deslaves, es un proceso indeseable ya que los suelos, indispensables para el establecimiento de la vegetación y para el funcionamiento correcto de los ecosistemas, son recursos renovables, pero que han tardado cientos o a veces miles de años en formarse. La erosión reduce la infiltración, la cantidad de materia orgánica y la fertilidad de los suelos. También promueve el azolve de los cauces, las presas y los ductos cuenca abajo, obligando a realizar constantes labores de mantenimiento. Las características de los suelos de la cuenca hacen que éstos sean fácilmente erosionables. Estudios recientes muestran que la vegetación conservada de la zona contribuye a regular los procesos erosivos, pues se ha reportado una baja cantidad de sólidos suspendidos en el río (Morales-Luque, 2010). Sin embargo, la provisión de este servicio tiende a reducirse si continúan los procesos de deforestación.

*Mantenimiento de la calidad del aire a través del almacén de carbono.* El CO<sub>2</sub> es extraído de la atmósfera mediante la fotosíntesis y se incorpora a los procesos metabólicos de las plantas. Este CO<sub>2</sub> participa en la composición de todas las estructuras necesarias para que la vegetación pueda desarrollarse. Durante el tiempo en que este carbono constituye alguna estructura del árbol, y hasta que es enviado nuevamente al suelo o a la atmósfera, se considera almacenado, lo cual contribuye a mantener la concentración de este gas de efecto invernadero en la atmósfera. En la CRM, según estimaciones realizadas, las diferentes comunidades vegetales cuentan con distintas capacidades de almacenamiento de carbono (Tabla 1). La comunidad de oyamel (*Abies religiosa*) tiene una capacidad de almacenamiento total elevada (83,603 tC); sin embargo, la de encinos (*Quercus*) presenta la capacidad más alta por hectárea, con respecto al resto de las comunidades (166 tC/ha) (Espinosa, 2005; Nava, 2006; Ávila-Akerberg y Almeida-Leñero, 2009). Se estima que la vegetación de la zona urbana también almacena carbono, sin embargo, no lo hace en la misma proporción que las zonas boscosas (Nava, 2006).

**Tabla 1**

Tabla 1. Capacidad de almacenamiento de CO<sub>2</sub> en distintas comunidades y asociaciones vegetales en la cuenca del río Magdalena, CDMX (elaboración propia a partir de Espinoza 2005, Nava 2006 y Avila-Akerberg 2009).

Comunidad	Asociación vegetal	Superficie (ha)	Almacenamiento total (tC)	Promedio (tC/ha)
Oyamel ( <i>Abies religiosa</i> )		1 433	83 603	58
	<i>Roldana angulifolia-Abies religiosa</i>			68
	<i>Acaena elongata-Abies religiosa</i>			117
	<i>Senecio cinerarioides-Abies religiosa</i>			13
Pino ( <i>Pinus hartwegii</i> )		1 014	44 564	44
	<i>Pinus hartwegii-Festuca toluensis</i>			58.5
	<i>Pinus hartwegii-Muhlenbergia quadridentata</i>			62.17
	<i>Muhlenbergia quadridentata y Festuca toluensis*</i>			20.84
Encinos ( <i>Quercus</i> )				166

\* Asociación en que hay codominancia en el estrato herbáceo.

*Calidad del agua.* Tal como se explica en el capítulo nueve, en las zonas altas el agua del río Magdalena es de buena calidad incluso para consumo humano. Esta calidad se reduce en la medida en que el río fluye hacia la parte baja y se incrementan las actividades humanas. Este cambio progresivo de las características físicas y químicas del agua se refleja en las modificaciones en la estructura de las comunidades de algas diatomeas y en los cambios que se observan en la densidad de bacterias indicadoras de contaminación fecal [coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y enterococos fecales (EF)]. Se ha mostrado que existe una menor densidad de bacterias en la zona más alta y menos perturbada del río, por una menor concentración de nutrientes (amonio, nitratos, fósforo), que se incrementa conforme el río fluye hacia la zona urbana (Jujnovsky *et al.*, 2010).

*Polinización.* La polinización es necesaria para la reproducción de la mayoría de las plantas con flores. Cerca de 220 000 especies de plantas en el mundo requieren de animales polinizadores para reproducirse. Más de 100 000 especies animales son polinizadoras, entre los que se cuentan los murciélagos, los colibríes, las abejas, los escarabajos, las aves, las mariposas y las moscas. Estos organismos contribuyen a brindar este servicio ecosistémico tanto en sistemas naturales como en cultivos. Su presencia en los ecosistemas depende de que exista una amplia variedad de hábitats necesarios para su alimentación, reproducción exitosa y completar su ciclo de vida (Buchmann y Nabhan, 1996). En la CRM, diversas especies de aves [particularmente los colibríes *Hylocharis leucotis*

(Vieillot) *Lampornis clemenciae* (Lesson) y *Eugenes fulgens* (Swainson)] y dos de murciélagos [*Anoura geoffroyi* (Gray) y *Choeronycteris mexicana* (Tschudi)] fungen como polinizadores de una proporción considerable de las especies de plantas de la región. La importancia de este servicio radica en que un tercio de los alimentos consumidos por los seres humanos derivan de plantas cuya reproducción depende de estos organismos silvestres. Sin el servicio de polinización, la producción en los campos de cultivo podría declinar y diversas especies nativas podrían extinguirse localmente (Fig. 4).



**Figura 4**

*Dispersión de semillas.* Para las plantas, el movimiento hacia nuevos sitios más allá de la sombra de sus progenitores se alcanza mediante la dispersión de semillas. Uno de los medios más comunes de dispersión es por animales. Sin las miles de especies animales que actúan como dispersores, una gran cantidad de plantas podrían fracasar en el proceso de establecimiento (Lanner, 1996). La reducción o desaparición de este servicio puede dejar áreas de bosque desprovistas de plántulas y árboles jóvenes, con lo cual los ecosistemas serían incapaces de recuperarse rápidamente frente a un disturbio. En la CRM se han registrado numerosas



especies de aves dispersoras, como la tortolita común, córvidos, tordos, pájaros semilleros, el zanate y especies de gorriones. También los roedores contribuyen con la dispersión de semillas de muchas especies de flora en la CRM.

*Control de poblaciones.* Las aves y de lagartijas, todas insectívoras, favorecen el control de las poblaciones de insectos. Las cuatro especies de aves rapaces (la aguililla y los gavilanes) regulan las poblaciones de aves y roedores. Los mamíferos carnívoros (como el lince, la comadreja, la zorra y el coyote) y las tres serpientes de cascabel, también contribuyen en mantener las poblaciones de roedores, lagartijas y anfibios bajo cierto umbral.

### ***Servicios culturales***

*Apreciación de belleza escénica.* Si bien los parámetros de belleza son subjetivos y dependen del contexto cultural, para la población, particularmente la urbana, la experiencia sensorial de cercanía a la naturaleza es de gran importancia. Por lo tanto, se considera que este servicio se genera en las áreas donde el bosque presenta buena cobertura vegetal y en zonas cercanas a cuerpos de agua, ya que el río es cristalino y sus cascadas y manantiales contribuyen a crear una sensación de bienestar en donde los visitantes disfrutan del paisaje.

*Recreación y ecoturismo.* La parte baja y media de la cuenca son utilizadas como zonas de esparcimiento que reciben aproximadamente 120 mil personas al año en busca del atractivo principal: el río Magdalena. Las actividades turísticas que se realizan incluyen comidas en los restaurantes campestres, campamentos en el bosque o en la zona de cabañas, paseos o juegos en el río. En el Primer Dinamo se pueden realizar paseos a caballo, circuitos de motocicleta, “gotcha” y retiros espirituales. También existe una zona con juegos y restaurante, llamado “Paidos”, poco antes del Tercer Dinamo. Otras actividades que se pueden realizar en la zona incluyen escalar en la pared de la Coconetla, la observación de fauna (principalmente de aves), bicicleta de montaña, fotografía paisajística y caminatas (Fig. 5).



Figura 5. Servicio cultural de recreación en la cuenca del río Magdalena, comx. (Foto: Laboratorio de Ecosistemas de Montaña, Fac. de Ciencias, UNAM).

### Figura 5

*Herencia cultural.* La comunidad Magdalena Atlitic ha tenido una estrecha relación con sus bosques y sus ecosistemas desde la época prehispánica, se han encontrado vestigios arqueológicos en algunas porciones de la cuenca. En la actualidad, la zona tiene importancia espiritual y religiosa, mismas que se detallan en el capítulo 16 (Fig. 6).



Figura 6. Herencia cultural en la cuenca del río Magdalena, CDMX. (Foto: Laboratorio de Ecosistemas de Montaña, Fac. de Ciencias, UNAM).

**Figura 6**

### ***Servicios de soporte***

*Ciclaje de nutrientes.* Una de las vías de circulación de materia al interior de los ecosistemas se da a través de la caída y descomposición de hojarasca. En este ciclo de nutrientes se encuentran componentes atmosféricos como el nitrógeno (N) y el carbono (C), o de la roca madre, como el fósforo (P). El nitrógeno y el fósforo son los elementos que frecuentemente limitan el crecimiento de plantas (Begon *et al.*, 2006). La tabla 2 muestra datos preliminares sobre los suelos de la cuenca en cuanto a pH, el contenido de materia orgánica, de nitrógeno y de carbono. En la parte baja de la cuenca hay acidificación, pero esto no parece repercutir en la actividad de la microbiota, encargada de los procesos de descomposición de materia orgánica en el suelo. Lo anterior se deduce del

hecho de que la relación entre carbono y nitrógeno encontrada en esta zona es similar a la que se presenta en las comunidades de *Abies religiosa* y de *Pinus hartwegii*; esto indica que la tasa de descomposición de materia orgánica muerta es rápida en el suelo de los tres tipos de vegetación. Aun así, es notorio que los valores más altos de nitrógeno y carbono se presenten en el piso altitudinal medio, en la comunidad de *Abies religiosa*. Esto podría explicarse por la alta productividad del sistema y por una descomposición un poco más lenta en comparación con la comunidad de bosque mixto y de *Quercus*. Es importante recalcar que a pesar de la influencia antrópica en las comunidades de bosque mixto y de *Quercus*, éstos no muestran aún efectos adversos en su funcionalidad en cuanto al ciclaje de nutrientes.

**Tabla 2**

Tabla 2. Características de los suelos de la cuenca del río Magdalena, comx (elaboración propia).				
Comunidad vegetal	pH	Materia orgánica (%)	Nitrógeno (N) (%)	Carbono (C) (%)
Bosque mixto y de encino ( <i>Quercus</i> )	4.5	40	0.51	10.83
Oyamel ( <i>Abies religiosa</i> )	4.9	36.4	0.90	18.13
Pino ( <i>Pinus hartwegii</i> )	5.2	11.8	0.33	7.81

*Formación de suelos.* El flujo de energía que se incorpora al sistema se conoce como Productividad Primaria Neta (PPN), es decir, la incorporación de biomasa por unidad de tiempo y área. La mayor parte de la PPN que se incorpora a los suelos proviene de la caída de hojarasca (Swift *et al.*, 1979; Aber y Melillo, 2001; Wright, 1991). La hojarasca es la suma de los desechos vegetales aéreos e incluye hojas, flores y otras estructuras reproductivas y ramas con menos de 2 cm de diámetro (Wright, 1996). Para la CRM se ha encontrado que hay 448.34 g/cm<sup>3</sup> de hojarasca en la comunidad de bosque mixto y de *Quercus*, 414.5 g/cm<sup>3</sup> en la comunidad de *Abies religiosa* y 113.26 g/cm<sup>3</sup> en la de *Pinus hartwegii*. Estos datos muestran un patrón altitudinal con una mayor cantidad de hojarasca en las zonas más bajas. Esto, a su vez, seguramente se traduce en mayores valores de productividad hacia la parte baja de la cuenca (Delgadillo-Duran, 2006). Cabe destacar que estos datos son consistentes

con la tendencia de los valores de nutrientes detectados hasta el momento en el suelo. Se han realizado experimentos sobre los procesos de descomposición usando un mismo sustrato (paja, *Hordeum* sp.) en los tres tipos de comunidades de bosque mixto y de *Quercus*, de *Abies religiosa* y de *Pinus hartwegii*, que muestran la existencia de un efecto microclimático en la descomposición por efecto de la temperatura del suelo (Hernández Rojas, en preparación; Unger-Saldaña, en preparación). Los datos generados en dichos estudios se muestran en la tabla 3. Finalmente, el servicio ecosistémico de formación de suelos únicamente se da en las zonas boscosas con cobertura vegetal, ya que en la zona urbanizada el suelo natural ha sido cubierto con asfalto y construcciones haciendo imposible la generación del servicio.

**Tabla 3**

Tabla 3. Tasa de descomposición de paja (*Hordeum* sp.) en distintas comunidades vegetales presentes en la cuenca del río Magdalena, CMX (elaboración propia a partir de datos de Hernández-Rojas [en prep.] y Unger-Saldaña [en prep.]).

Comunidad vegetal	Tasa de descomposición (g/día)
Encino	0.11 (± 0.008)
Oyamel	0.12 (±0.004)
Pino	0.05 (±0.04)

*Mantenimiento de la biodiversidad.* Hasta el momento se tienen reportadas 1 060 especies en la zona conservada: 492 especies de plantas vasculares y no vasculares, 147 especies de vertebrados, 113 especies de algas y 308 especies de hongos. La presencia de múltiples especies enriquece los ecosistemas y es responsable del mantenimiento de su estructura y su funcionamiento, lo que se traduce en la regulación de flujos energéticos y la existencia de otros servicios ecosistémicos. La CRM está cumpliendo una importante función de mantenimiento de biodiversidad al albergar estas especies y muchas otras que aún no han sido registradas.

### Consideraciones finales

A partir de la identificación y caracterización de los 19 servicios ecosistémicos para la CRM descritos aquí, se puede decir que buena parte de ellos se generan principalmente en las partes altas de la cuenca, donde existe una buena cobertura de vegetación arbórea. A medida que se

desciende en altitud la cuenca comienza a poblarse y la provisión de los servicios ecosistémicos va decreciendo, hasta que finalmente en la zona urbana (desde el pueblo de la Magdalena hasta la avenida Río Churubusco) prácticamente desaparece. En este caso la zona urbana es la beneficiaria de dichos servicios.

La CRM es de vital importancia para los habitantes del suroeste de la CDMX ya que de ella depende, en gran medida, su calidad de vida. Sin embargo, la CRM se ve amenazada cotidianamente por diversos factores de deterioro, muchas veces irreversibles, entre los que sobresalen la presión de los intereses inmobiliarios, la presencia de asentamientos irregulares, el crecimiento de los mismos poblados rurales, la atomización de las parcelas agrícolas, los conflictos en la tenencia de la tierra, una crisis agraria que se mantiene en la actualidad y la pobreza de sus pobladores. La biodiversidad de la cuenca se ve afectada de manera directa por la tala ilegal, la incidencia de incendios, la falta de manejo técnico, la apertura de terrenos al cultivo, la ganadería no controlada y la contaminación del aire, suelo y agua que resultan en el deterioro de los ecosistemas.

Todo esto nos lleva a la conclusión de que para que la CRM pueda seguir brindando servicios ecosistémicos a la población de la CDMX, es fundamental conservar sus partes altas, ya que es allí donde se capta el agua, se almacena el carbono y se concentra la biodiversidad, la cual es responsable de la generación de los demás servicios ecosistémicos.

El Gobierno de la Ciudad de México ha reconocido públicamente que la viabilidad actual y futura de la ciudad depende de manera significativa de la existencia de las zonas boscosas de la CDMX, por los servicios ecosistémicos que le proporcionan. Es por esta razón que las acciones para su restauración y conservación deberían ser prioritarias dentro de las estrategias de gobierno en materia de ambiente, bajo un esquema de manejo de ecosistemas. Aunque esta cuenca por sí sola presta gran cantidad de servicios ecosistémicos, es parte de un continuo de vegetación entre la CDMX, los estados de México y de Morelos, el cual se conoce como Bosque de Agua (ECOBA, 2012). La importancia primordial de estos bosques radica en que abastecen de agua a la población de la zona central del país. Por ello es fundamental que se desarrollen políticas

públicas a favor de la conservación de los cuerpos de agua y del bosque, por lo que es necesario que se decreten, ejecuten y se cumplan programas de manejo y ordenamiento ecológico comunitario que contribuyan a regular las actividades que se realizan en estas zonas.

### **Agradecimientos**

A todas aquellas personas que trabajaron para determinar los servicios ecosistémicos en la CRM: Mariana Nava, Alya Ramos, Silvia Castillo, Jaime Zúñiga, Fernando Puebla, José Luis Villarruel, Miriam Bojorge, Juan Carlos Peña, Audra Patterson y Paula Amabel Hernández.

### **Referencias**

- Aber, J.D. y Melillo, J.M., 2001. *Terrestrial ecosystems*. San Diego, CA: Academic Press.
- Ávila-Akerberg V. y Almeida-Leñero, L., 2009. Autenticidad forestal en el suroeste de la Ciudad de México, hacia la restauración ecológica de los servicios ambientales. *Revista Forestal Latinoamericana*, 24(1), pp. 31-53.
- Balvanera, P. y Cotler, H., 2007. Acercamiento al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica Número Especial*, 84-85, pp. 8-15.
- Begon, M., Townsend, C.R. y Harper, J.L., 2006. *Ecology: From individuals to ecosystems*. Oxford, USA: Blackwell publishing.
- Boyd, J. y Banzhaf, S., 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 63, pp. 616-626.
- Brauman, K., *et al.*, 2007. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. *Annual Review of Environment and Resources*, 32, pp. 67-98.
- Buchmann, S.L. y Nabhan, G.P., 1996 *The forgotten pollinators*. Washington, D.C: Island Press.
- Carpenter, S., *et al.*, 2009. Science for managing ecosystem services. *Beyond the Millennium Ecosystem Assessment*, 106(5), pp. 1305-1312.
- Costanza, R., *et al.*, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, pp. 253-260.
- Daily, G.C., Matson, P.A. y Vitousek, P.M., 1997. Ecosystem services supplied by soil. En: G. Daily, ed. *Nature's services: societal*

- dependence on natural ecosystems*. Washington, D.C: Island Press.
- Dale, V.H. y Polansky, S., 2007. Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Ecological Economics*, 64, pp. 286-296.
- De Groot, R.S., Wilson, M.A. y Boumans, R.M., 2002. A typology for the classification, description, and valuation of ecosystem function, goods and services. *Ecological Economics*, 41, pp. 393-408.
- Delgadillo-Duran, E., 2006. *Análisis de la estructura de la vegetación en el borde de una selva tropical húmeda*. Tesis de Licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- ECOBA., 2012. *Estrategia Regional para la Conservación del Bosque de Agua*. J. Hoth, ed. Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P., Fundación Biósfera de Anáhuac, A.C. y Pronatura México, A.C. México.
- Espinosa, M.I., 2005. *Estimación del contenido y captura de carbono en el bosque de Pinus hartwegii de la cuenca alta del río Magdalena, D.F.* Tesis Licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fisher, B., Turner, R.K. y Morling, P., 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68, pp. 643-653.
- GLP, Global Land Project., 2005. *Science Plan and Implementation Strategy*. Stockholm: IGBP Secretariat.
- González Martínez, T., 2008. *Modelación hidrológica como base para el pago por servicios ambientales en la microcuenca del Río Magdalena, Distrito Federal*. Tesis de Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. México. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Hernández Sánchez, A.P., 2009. *Plantas medicinales y su efecto antimicrobiano: un servicio ecosistémico de la cuenca del Río Magdalena, D.F.* Tesis Licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- IGBP, International Geosphere-Biosphere Programme, 2006. *Science Plan and Implementation Strategy*. Stockholm. IGBP Report No. 55. IGBP Secretariat.
- INEGI, (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 2000.



- Base de datos de los censos. Información Interna.*
- Jujnovsky, J., *et al.*, 2010. Hydrologic ecosystem services: water quality and quantity in the Magdalena River. *Hidrobiológica*, 20(2), pp. 113-126.
- Jujnovsky, J., 2006. *Servicios ecosistémicos relacionados con el recurso agua en la cuenca del Río Magdalena, Distrito Federal, México*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Kremen C., 2005. Managing ecosystem services: What do we need to know about their ecology? *Ecology Letters*, 8, pp. 468-479.
- Lanner, R.M., 1996. *Made for each other: a symbiosis of birds and pines*. Nueva York: Oxford University Press.
- Leff, E., 2004. Hábitat/habitar. En: Leff E. *Saber ambiental. Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*. México. Siglo XXI, PNUMA. pp. 279-300.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment), 2003. Ecosystems and human well-being, Capítulo 2: *Ecosystem and their services*. Washington, D.C: Island Press.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment), 2005. Ecosystems and human well-being. Capítulo 3: *Drivers of ecosystem change, summary chapter*. Washington, D.C: Island Press.
- Mooney, H.A. y Ehrlich P.R., 1997. Ecosystem Services: A Fragmentary History. En: G.E. Daily, ed. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystem*. Washington D.C. Island Press, pp. 11-19.
- Nava, M., 2006. *Carbono almacenado como servicio ecosistémico y criterios de restauración, en el bosque de Abies religiosa en la cuenca del Río Magdalena*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ostrom, E., 2009. General framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325, pp. 419-422.
- Postel, S. y Carpenter, S., 1997. Freshwater ecosystem services. En: G. Daly, ed. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Washington, D.C: Island Press. pp. 195-214.
- Quétier, F., *et al.*, 2007. Servicios ecosistémicos y actores sociales. Aspectos conceptuales y metodológicos para un estudio

- interdisciplinario. *Gaceta Ecológica edición especial*, 84-85, pp. 17-27.
- Swift, M. J., Heal, O. y Anderson, J., 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Vitousek, P., *et al.*, 1997. Human domination of earth's Ecosystems. *Science*, 227, pp. 494-499.
- Wright, S.J., 1991. Seasonal drought and the phenology of understory shrubs in a tropical moist forest. *Ecology*, 72, pp. 1643-1657.
- Wright, S.J., 1996. Phenological responses to seasonality in tropical forest plants. En: S.S. Mulkey, Chazdon, R.L. y Smith, A.P., eds. *Tropical forest plant ecophysiology*. Nueva York: Chapman and Hall. pp. 440-460.
- 

<sup>1</sup> Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.  
Correo electrónico autor de correspondencia: \* [julieta.jujnovsky@gmail.com](mailto:julieta.jujnovsky@gmail.com)

## PROPUESTA DE MANEJO DEL AGUA DESDE EL ENFOQUE DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

*Julieta Jujnovsky Orlandini<sup>1\*</sup>, Alya Ramos Ramos<sup>1</sup>, Angela Caro-Borrero<sup>1</sup> y Lucía Almeida Leñero<sup>1</sup>*

### Introducción

Este capítulo plantea una propuesta de manejo del agua, a partir del enfoque de servicios ecosistémicos y de la síntesis e integración de toda la información generada hasta el momento para la CRM.

La propuesta consiste, en primer lugar, en la evaluación del servicio ecosistémico de provisión de agua y, en segundo, en la generación de las intervenciones de manejo para que el servicio pueda seguir proveyéndose (Fig. 1). El marco conceptual está inspirado en los lineamientos para el manejo de ecosistemas de (Maass y Cotler, 2006), el cual propone a la cuenca como la unidad óptima para manejar el agua, a los servicios ecosistémicos como objetivo primordial de la propuesta, al monitoreo participativo como parte fundamental del manejo y, finalmente, al manejo adaptativo para adecuar la propuesta en la medida en que se avance en la generación del conocimiento y en el fortalecimiento de las relaciones sociales e institucionales.

Una vez que el servicio ecosistémico de provisión de agua es evaluado desde su componente ambiental, social y económico, se requiere de una serie de intervenciones (técnicas, comunicativas e institucionales) de manejo en el ecosistema, las cuales están basadas en la propuesta de Castillo, 2005. Las de tipo técnico son aquellas de corte ecológico orientadas a la manipulación sostenible del ecosistema, las cuales deben inducir el mejoramiento y conservación de los ecosistemas. Las medidas de intervención comunicativas están orientadas a transformar el escenario de generación y discusión de la información, con los discursos y argumentos de los diferentes sectores sociales que participan en el proceso de manejo; generando un proceso de aprendizaje colectivo, ambiental, político y ciudadano, que constituya un mecanismo para la articulación del conocimiento y discusión de los sistemas socio-ecológicos. Por último, las medidas de intervención institucional están orientadas a transformar las

reglas de interacción social relacionadas con el manejo de ecosistemas (Castillo, 2005). A continuación, se presenta el esquema desarrollado para la propuesta.

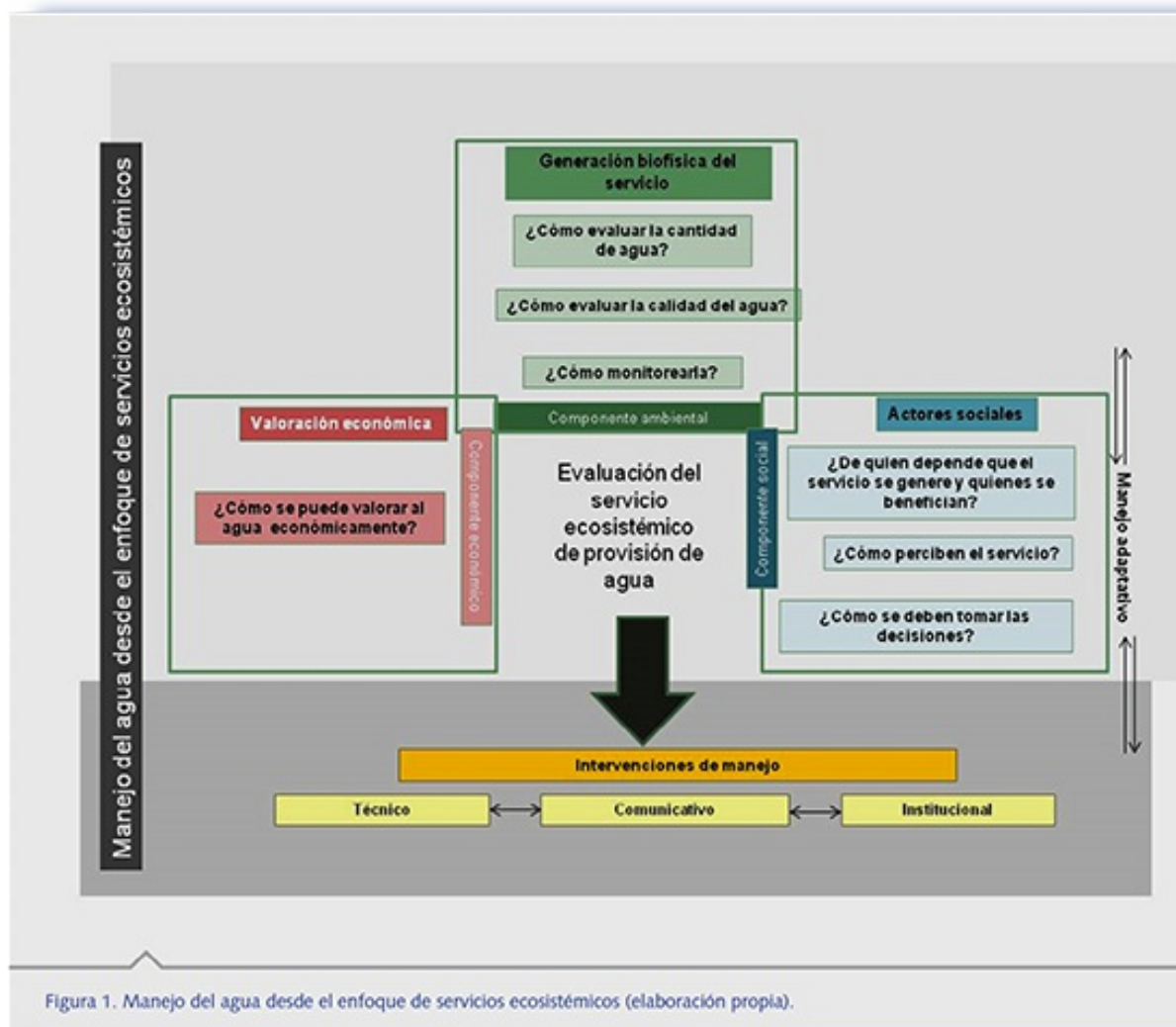


Figura 1

### Evaluación del servicio ecosistémico

La evaluación del servicio ecosistémico de provisión de agua se basa en el esquema de Brauman *et al.*, 2007, para el entendimiento, la evaluación y el manejo de servicios ecosistémicos, y en la síntesis e integración de diferentes estudios realizados en la CRM. Con base en lo anterior se plantearon las preguntas siguientes: ¿Cómo se puede evaluar la cantidad y calidad del agua? ¿Quiénes son los actores sociales involucrados con el manejo? ¿Quiénes se beneficia de la provisión del servicio ecosistémico? ¿Cómo perciben los actores sociales el servicio? ¿Cómo se toman las decisiones? y ¿cómo se puede evaluar económicamente el servicio? Con la

finalidad de contestar a las interrogantes anteriores, se presentan a continuación los aspectos ambientales, sociales y económicos analizados para esta cuenca.

El *componente ambiental*. Esta esfera se refiere a la generación biofísica del servicio ecosistémico, es decir, cuáles son los procesos que determinan que el servicio se pueda generar.

Para la cuenca del río Magdalena se han realizado análisis tanto de calidad como de cantidad de agua, lo que permite tener un diagnóstico de cómo está la generación del servicio.

Los datos de dichos análisis se presentan de manera detallada dentro del capítulo “Cantidad y calidad de agua” en la segunda sección de este libro, donde se presentan los cálculos de cantidad de agua realizadas mediante la estimación del balance hídrico utilizando los métodos de Thornthwaite y SWAT (Jujnovsky *et al.*, 2010; Jujnovsky *et al.*, 2012). Mientras, que la calidad del agua se evaluó mediante parámetros físico-químicos y biológicos, para lo que se elaboró un índice que incluye 8 parámetros: presencia de coliformes fecales, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitratos, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos totales (SST) (PUMA-UNAM, 2009). La evaluación biofísica del servicio mostró que esta cuenca genera en promedio 20 millones de metros cúbicos de agua al año, siendo el escurrimiento base el más importante y las zonas altas de bosques de *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa* las que generan más agua. A su vez, esta es de buena calidad con poca presencia de sólidos y bacterias hasta que llega a la zona urbana, donde los niveles de contaminación aumentan drásticamente.

El *componente social*. Se refiere a los actores sociales involucrados en el manejo. En el capítulo 17 de este mismo libro, Ramos y Almeida, hacen una descripción de los actores sociales de la CRM. A partir de esa información, para esta propuesta se clasifican los actores en: 1.- aquéllos que potencialmente pueden modificar la generación del servicio y 2.- aquellos que son beneficiados por éste. Esta identificación se hizo de manera participativa y periódica para lograr integrar un mayor número de personas interesadas y porque los actores cambian a través del tiempo (Montañés-Serrano, 2009). Además, es importante conocer las diferentes

perspectivas ambientales que tienen estos actores en relación con el servicio ecosistémico de provisión de agua, para lo cual se utilizaron métodos cualitativos (grupos focales y entrevistas a profundidad actores clave), que permiten conocer a mayor detalle las percepciones de los actores locales clave. Además, es fundamental saber cómo se toman las decisiones y quiénes son las autoridades responsables de ejecutarlas.

El *componente económico*. La valoración del servicio ecosistémico fue realizada mediante el método de costo de reemplazo, usado para valorar un solo servicio sin estimar la demanda, ignorando las preferencias de los individuos y sólo tomando en cuenta las características biofísicas de la cuenca. El método determina el costo de reemplazar la función de un sistema ecológico con un sistema tecnológico, el cual es usado como un estimado del valor del servicio ecosistémico evaluado (Shabman y Batie, 1978). Para obtener el valor económico, se usó información previamente generada sobre la provisión de agua (Jujnosvky *et al.*, 2012). La tecnología elegida como reemplazo de la función ecosistémica de infiltración fueron los pozos de inyección directa, se consideró que esta tecnología era la más apropiada tomando en cuenta las características geológicas e hidrológicas de la cuenca (Caro-Borrero, 2012). Con esta evaluación se obtuvo que el valor económico de que el agua se logre infiltrar en la cuenca y permanecer todo el año en el suelo es de 333 dólares por hectárea al año. Esto demuestra el costo que ocasionaría perder el río y el ahorro que representa actualmente al abastecer algunas colonias de la CDMX y evitar la importación de mayores cantidades de agua.

Con base en la información generada sobre el componente ambiental, social y económico, se describen a continuación intervenciones de manejo de ecosistemas para que el servicio de provisión de agua se mantenga en la CRM.

### **Intervenciones de manejo de ecosistemas**

*Intervenciones técnicas.* En el caso concreto de la provisión de agua, estas intervenciones deben estar enfocadas a la conservación de la cantidad, temporalidad y calidad del agua. Para ello, es necesario que se cumplan dos premisas básicas: conservar la cobertura forestal y evitar los aportes que contaminan el río. La conservación o restauración de la cobertura forestal se debe enfocar principalmente a las comunidades de *Abies*

*religiosa* y *Pinus hartwegii*, ya que son éstas donde se genera más escurrimiento base (Jujnovsky *et al.*, 2012). Es necesario tomar en cuenta que se debe mantener la cobertura arbórea en zonas con pendientes pronunciadas, para evitar erosión y el arrastre de sólidos al agua. La capacidad de regulación del ecosistema se comprueba con base en la buena calidad del agua, por lo que es fundamental evitar descargas de aguas residuales y residuos sólidos al río (Jujnovsky *et al.*, 2010; Morales-Luque, 2010). En zonas contaminadas, se deben coleccionar las aguas residuales, tratarlas y posteriormente volverlas a verter al río; esto con la finalidad de conservar el caudal ecológico del río y la vegetación ribereña.

Cabe mencionar que algunas de las intervenciones para conservar el área en buen estado ya se habían planteado desde “El Plan Maestro para el Rescate Integral de la cuenca del río Magdalena” (PUEC-UNAM, 2008), como la reducción de la erosión y los deslaves, la restauración por tipo de ecosistema, el manejo forestal sustentable, la prevención de los incendios, la protección de la flora y fauna, y la educación y comunicación ambiental.

Para que estas intervenciones de tipo técnico se apliquen, debe haber conciencia e interés por parte de los actores principales: tomadores de decisiones y de las personas involucradas en el proceso de manejo (comuneros, productores, empresarios, autoridades, entre otros), para ello es indispensable el desarrollo de intervenciones comunicativas. A su vez, es necesario que existan las condiciones de gobernanza y desarrollo institucional adecuadas para conseguir los recursos económicos y administrarlos adecuadamente, para ello, se requieren de intervenciones institucionales (Castillo, 2005; Maass y Cotler, 2007).

*Intervenciones comunicativas.* Para que las acciones de manejo en la CRM sean exitosas y permeen con los pobladores, es fundamental que en la generación de las propuestas participen la mayor parte de los actores sociales involucrados. Para ello, es necesario que la identificación de los actores se haga siempre de manera participativa, por lo que se debe hacer de manera conjunta con las comunidades locales, tal como se ha hecho hasta la fecha en la CRM. Detrás del fracaso de políticas y programas de manejo está, con frecuencia, precisamente la ausencia de algún actor importante en los procesos de toma de decisiones. Esta ausencia se debe a la falta de un entendimiento claro de cómo funciona y quiénes conforman

el socio-ecosistema, pero también, puede ser por un deliberado intento de segregar a un sector en particular (Maass, 2012).

Las intervenciones no se deben hacer en función de la duración de proyectos académicos o gubernamentales. Especialmente los comuneros y los habitantes del lugar deben lograr una relación fuerte y duradera con las dependencias de gobierno y con la academia, para que pueda haber un genuino proceso de participación social, que resulte en acciones exitosas para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos, por lo que esta intervención debe continuar de manera constante en la zona de estudio.

Los actores involucrados tienen diferentes percepciones y necesidades en relación con los servicios ecosistémicos, así como distintas capacidades y deseos de modificarlos (Díaz *et al.*, 2011), por lo que se recomienda la implementación de talleres con cada grupo de actores para entender sus perspectivas y lograr objetivos conjuntos. También son fundamentales las campañas de educación y comunicación ambiental para mostrar la relevancia de cuidar los bosques para la generación de agua.

Para que las intervenciones comunicativas tengan éxito se debe tener claro que este es un proceso muy largo que requiere de estrategias y compromisos de muchos grupos de actores a lo largo del tiempo. Para la zona de estudio, se creó recientemente el Comité de Cuenca del río Magdalena, el cual forma parte del Consejo de Cuenca del Valle de México, que administra la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (artículo 14° de la Ley de Aguas Nacionales). Este comité fue instalado con el consenso de los vecinos y se espera que a partir de esta iniciativa se comience a crear un verdadero proceso participativo en la zona.

*Intervenciones institucionales.* Para que un programa de manejo pueda ser exitoso es indispensable la coordinación de las diferentes dependencias de gobierno, con el propósito de que no se lleven a cabo acciones contradictorias y, por lo tanto, que haya una mejor aplicación de los recursos financieros, así como una mejoría de las condiciones ambientales de la zona.

Para la zona de estudio, el manejo del agua bajo el concepto de gobernanza se planeó desde “El Plan Maestro para el Rescate Integral de la cuenca del río Magdalena” (PUEC-UNAM, 2008). Allí se indica que los objetivos deben ser determinados y definidos a través del consenso entre



los participantes en las intervenciones comunicativas. La capacidad de acción y regulación se debe hacer a través de la responsabilidad compartida entre las autoridades gubernamentales y las organizaciones sociales y privadas. Sin embargo, hasta la fecha, las comunidades locales no han sido integradas en la toma de decisiones de las instituciones de gobierno tanto local como federales.

La tabla 1 muestra las principales instituciones gubernamentales que tienen, o deberían tener, injerencia en la zona de estudio, desde el ámbito federal hasta el local. Ramos y Almeida en su capítulo describen qué instituciones han estado involucradas en la zona de estudio. Las intervenciones institucionales que involucran la conservación y restauración del bosque deberían llevarse a cabo en coordinación con la Comisión de Recursos Naturales (CORENA), la Delegación La Magdalena Contreras y los comuneros. Éstos últimos para que formen brigadas de vigilancia y reforestación, mientras que la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) debe otorgar los fondos para que se realicen dichas acciones y obras. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) es la institución responsable de otorgar los permisos para las obras de mantenimiento y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) de vigilar el cumplimiento de los mismos.

**Tabla 1**

Tabla 1. Instituciones gubernamentales con injerencia en el manejo del agua y bosques en la cuenca del río Magdalena, comx (elaboración propia).

Federal	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)
Estatad	Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM) Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT) Secretaría de Medio Ambiente (SMA) Comisión de Recursos Naturales (CORENA) Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI) Secretaría de Obras y Servicios
Local	Delegación Magdalena Contreras

Para evitar que siga avanzando la mancha urbana, es necesaria la coordinación entre la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT) y la Secretaría del Medio Ambiente (SMA-DF), para

vigilar el cumplimiento del ordenamiento ecológico del Suelo de Conservación de la CDMX. Asimismo, la Secretaría de Obras y Servicios, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI) y la Delegación, en coordinación, deberían evitar que sigan creciendo los asentamientos irregulares. Para la protección de los márgenes del río Magdalena se necesita la coordinación de la CONAGUA, la SMA y el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM). Este último para evitar obras que puedan ocasionar la contaminación, desvío o sobreexplotación del río. El SACM, en coordinación con la CONAGUA, debería establecer una estrategia de suministro de agua potable que sea diferenciada en época de lluvias y estiaje, lo que evitaría desperdiciar agua que puede utilizarse abasteciendo a las colonias cercanas a las zonas de generación del servicio ecosistémico.

Para controlar las actividades recreativas y evitar la acumulación de basura, es indispensable que las instituciones locales como la asociación de comerciantes o comuneros, en coordinación con la Delegación y la Secretaría de Obras de la CDMX, organicen la separación, recolección y el traslado de los residuos, para que no se depositen en el cauce del río.

Las responsabilidades y competencias de las diferentes instituciones de gobierno suelen traslaparse y, en muchos casos, las leyes federales y estatales se contraponen. Por lo tanto, no es sencillo determinar de manera clara la responsabilidad que tienen las distintas entidades en cada acción. Sería necesario contar con un estudio jurídico profundo para poder esclarecer las competencias de cada una de ellas.

Como ya se mencionó en el apartado del componente económico, una parte fundamental de las intervenciones es la adecuación y ejecución eficiente de un programa de pago por servicios ambientales. Para ello es necesario realizar valoraciones económicas eligiendo el método más adecuado en función de los datos con los que se cuenta. El Programa Federal de Pago por Servicios Ambientales hidrológicos (PSAH), ha sido implementado por la CONAFOR desde el año 2003 en el Suelo de Conservación de la CDMX (Perevochtchikova y Vázquez-Beltrán, 2012). Desafortunadamente, en la CRM hay desconocimiento de este programa por parte de los comuneros. Esto se debe a la falta de asistencia a las asambleas, problemas de comunicación con la CONAFOR y a que no ha

habido una adecuada estrategia de comunicación a través de talleres, en los que se expliquen los objetivos del programa (Caro-Borrero, 2012). Para que el PSAH pueda ser exitoso es muy importante que esté sustentado en el modelo propuesto con datos biofísicos y que esté acompañado de intervenciones técnicas y comunicativas congruentes, pues la falta de coordinación entre instituciones hace que los programas se desarrollen en forma contraria a las que fueron concebidos. La valoración económica del agua que propone (Caro-Borrero, 2012) podría usarse como base para establecer pagos más justos.

La tabla 2 ejemplifica las preguntas básicas para el diseño de las intervenciones y la aplicación de estas.

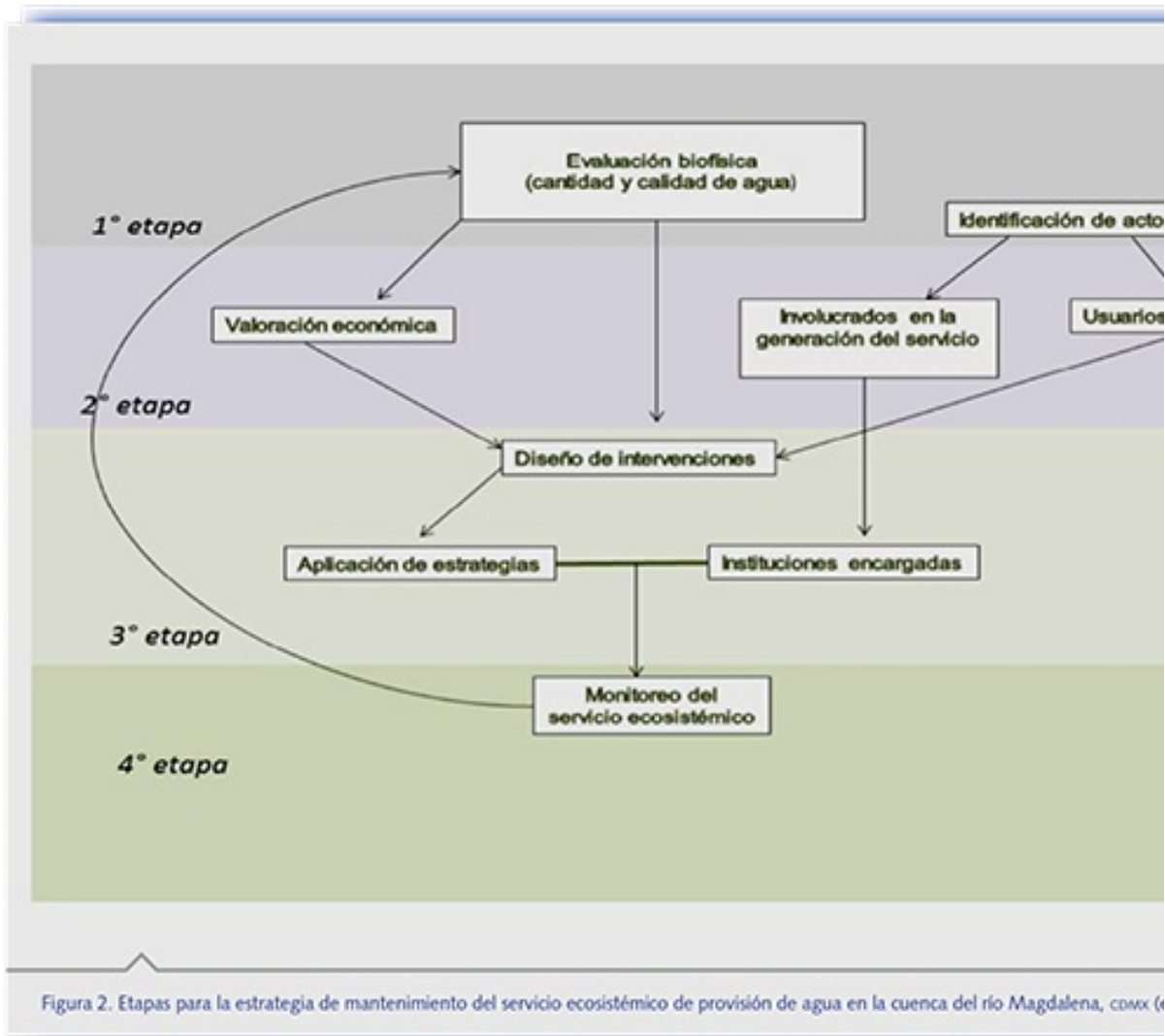
**Tabla 2**

Tabla 2. Preguntas relevantes para poder ejecutar las intervenciones de manejo en la cuenca del río Magdalena, comx (elaboración propia).

Técnica		Comunicativa		Institucional		
¿Qué servicios se deben mantener?	¿Cómo debe estar el ecosistema?	¿Quiénes son los responsables de la generación del servicio?	¿Quiénes son los usuarios?	¿Qué tipo de intervenciones se deben diseñar?	¿Cuáles son las instituciones competentes?	
					Gobierno	Grupos locales
Provisión de agua	Bosque bien conservado	Directos: Comuneros Autoridades	Directos: Habitantes	1.-Organización de brigadas de vigilancia contra incendios y tala	SMA CORENA Delegación M.C	Comisari
Cantidad de agua	Río sin contaminación	Indirectos: Academia Organismos de la sociedad civil	Indirectos Visitantes	2.-Implementación de programas de reforestación	CONAFOR PROFEPA CORENA	Comune
Calidad de agua				3.-Protección de los márgenes del río Magdalena y monitoreo de calidad de agua	CONAGUA PROFEPA SACM PAOT SMA	Comune
				4.-Diseño de una estrategia diferenciada por temporadas para el suministro de agua	CONAGUA SACM	
				5.-Cumplimiento del POET del suelo de conservación de la Ciudad de México	PAOT SMA	
				6.-Control de los asentamientos irregulares en barrancas y suelo de conservación y control de vertimientos	SMA Secretaría de obras PAOT SEDUVI Delegación M.C	
				7.-Control de las zonas recreativas		Comisari comercia
				8.-Recolección de basura y limpieza en los márgenes de los ríos y en la zona boscosa	Secretaría de obras Delegación M.C.	Comercia Vecinc Comune
				9.-Adecuación del programa de pago por servicios ambientales hidrológicos.	CONAFOR SACM SMA	

### Consideraciones finales

Esta propuesta está basada en la evaluación integral del servicio ecosistémico de provisión de agua, analizando la cantidad y calidad de agua que produce la cuenca, usando las técnicas más adecuadas para monitorearla; identificando quienes son los actores sociales involucrados y sus percepciones, así como realizando una valoración económica del servicio ecosistémico. Con base en esta información, se deben plantear las intervenciones de manejo en el ecosistema necesarias para que el servicio puedan seguir generándose (Fig. 2).



**Figura 2**

Para desarrollar esta propuesta, es necesario integrar el trabajo científico con los procesos de toma de decisiones. Cuando se pretenden manejar los ecosistemas es necesario reconocer las condiciones de incertidumbre y que los datos que se generen se deben de utilizar como herramienta, ya que es muy difícil contar con la información suficiente para entender todas las funciones y los procesos de los ecosistemas, pues los cambios ambientales y socio-económicos en las ciudades son muy acelerados y requieren respuestas rápidas por parte de los tomadores de decisiones.

Por lo tanto, la propuesta está planteada a partir de la información que se ha generado hasta el momento para la cuenca del río Magdalena. Sin embargo, es necesario tener claro que aún no se conocen con detalle los procesos que regulan al ecosistema. Por esta razón, el modelo propuesto

siempre será necesario irlo adaptarlo en la medida en que se avance en la generación del conocimiento y en el fortalecimiento de las relaciones sociales e institucionales.

Para análisis posteriores más detallados sobre cantidad de agua se podrían utilizar modelos hidrológicos como ARIES o INVEST, que parten de un enfoque de servicios ecosistémicos y son ideales para personas no especializadas (Vigerstol y Aukema, 2011). A su vez, se puede afinar la información monitoreando en el futuro el caudal, utilizando el gasto base del río, en relación con el volumen de agua en tiempo de lluvias y estiaje, y el gasto unitario de recarga, que se refiere al volumen total de recarga anual (PUMA-UNAM, 2009). Para tener una evaluación integral de la calidad del agua se podría incluir información sobre diversidad y ecología de diferentes grupos biológicos, la cual debería utilizarse para definir indicadores de calidad ambiental, ya que existen varias especies que son endémicas o en alguna categoría de protección, que podrían utilizarse de referencia.

Se debe seguir gestionado para que las recomendaciones dadas en el Plan Maestro y que hasta el momento no se han visto reflejadas en las acciones que ejecutan las instituciones del gobierno en la zona, se ejecuten de manera adecuada tomando en cuenta tanto la información biofísica como los actores locales y las instituciones involucradas. Se espera que el trabajo continuo entre academia, gobierno y los grupos locales, con una visión integral de servicios ecosistémicos, sirva para que las propuestas puedan ejecutarse cuanto antes, ya que de eso depende poder seguir conservando una fuente de tan importante de agua y biodiversidad para la ciudad.

### **Literatura citada**

- Brauman, K.A., *et al.*, 2007. The nature and value of ecosystem services highlighting hydrologic services. *Annual Review of Environment and Resources*, 32, pp. 67-98.
- Caro-Borrero, A.P., 2012. *Evaluación del pago por servicios ambientales hidrológicos: una perspectiva socio-ambiental en la Cuenca del Río Magdalena, México, D.F.* Tesis de Maestría. México. Instituto de Ciencias del Mar. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Castillo, A., 2005. Comunicación para la restauración: Perspectivas de los

- actores e intervenciones con y a través de las personas. En: Ó. Sánchez, *et al.*, eds. *Temas sobre restauración ecológica*. México. Instituto Nacional de Ecología- SEMARNAT, U. S. Fish y Wildlife Service, Unidos para la Conservación. pp. 67-75.
- Díaz, S., *et al.*, 2011. Linking functional diversity and social actor strategies in a framework for interdisciplinary analysis of nature's benefits to society. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 108, p. 895.
- Jujnovsky, J., *et al.*, 2010. Hydrologic ecosystem services: water quality and quantity in the Magdalena River, Mexico City. *Hidrobiológica*, 20, pp. 113-126.
- Jujnovsky, J., *et al.*, 2012. Assessment of water supply in a rural-urban watershed in southwest Mexico City, *Environmental Management*, 49, pp. 690-702.
- Maass, J.M. y Cotler, H., 2006. *Protocolo para el manejo integrado de cuencas hidrográficas*. México. Informe a la World Wildlife Fund (WWF). 18 p.
- Maass, J.M. y Cotler, H., 2007. Protocolo para el manejo de ecosistemas en cuencas hidrográficas En: H. Cotler, comp. *El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. México. (Segunda Edición). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. pp. 41-58.
- Maass, J.M., 2012. El manejo sustentable de socio-ecosistemas. En J. L. Calva, coord. *Cambio climático y políticas de desarrollo sustentable*. Tomo 14 de la colección Análisis Estratégico para el Desarrollo. México. Juan Pablos Editor-Consejo Nacional de Universitarios. pp. 267-290.
- Montañés-Serrano, S.M., 2009. *Teoría y práctica de una estrategia de investigación participativa*. Barcelona: Editorial UOC.
- Morales-Luque, G., 2010. *Evaluación de la calidad del agua en el Río Magdalena, D. F. como servicio ecosistémico*. Tesis de Licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Perevochtchikova M. y Vázquez-Beltrán, A., 2012. The federal program of payment for hydrological environmental services as an alternative

instrument for integrated water resources management in Mexico City. *The Open Geography Journal*, 5, pp. 35-46

Programa Universitario de Medio Ambiente., 2009. Sistema de indicadores para el rescate de los ríos Magdalena y Eslava. *Informe Técnico de la Universidad Nacional Autónoma de México a la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal*, México.

Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad-UNAM, 2008. Propuesta de línea de acción para el Plan Maestro de la cuenca del Río Magdalena: 5.1.2 Instrumentos transversales de participación social. En: *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del Río Magdalena*. Secretaría del Medio Ambiente-Gobierno del Distrito Federal, Universidad Nacional Autónoma de México.

Shabman L.A., Batie S., 1978. Economic Value of Natural Coastal Wetlands: A Critique. *Coastal Zone Management Journal*, 4, pp. 231-247

Vigerstol K. y Aukema, J., 2011. A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, 92, pp. 2403-2409.

---

<sup>1</sup> Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

Correo electrónico autor de correspondencia: \* [julieta.jujnovsky@gmail.com](mailto:julieta.jujnovsky@gmail.com)



## COMENTARIOS FINALES

Pocas veces se da la oportunidad de tener en nuestras manos una obra que integre información de la historia geológica de una región, de su biodiversidad conformada por el estudio de diversos grupos biológicos, del funcionamiento de sus ecosistemas, de la historia cultural y social del territorio, de la tenencia de la tierra, de la importancia del manejo de los recursos y su aprovechamiento. En esta ocasión, podemos conocer como históricamente, la cuenca de México ha sido un sistema muy diverso ecológicamente, con gran heterogeneidad de paisajes, de hábitats y de especies que proveen de múltiples servicios ecosistémicos, los que se han visto transformados desde la ocupación de las primeras civilizaciones prehispánicas, hasta la actualidad. El acelerado proceso de transformación humana relacionado con sobre explotación de los recursos naturales y expansión demográfica ha puesto en riesgo permanente la sustentabilidad en la región, caracterizada por una reducción significativa de los humedales, una sobreexplotación de los recursos forestales que ha provocado una disminución del balance hídrico, acompañada de una importante pérdida de biodiversidad. Para lo cual, hoy día es apremiante caracterizar la interacción espacio-temporal entre los asentamientos humanos y el Suelo de Conservación de la Ciudad de México e intervenir con políticas públicas ambientales propuestas con un sustento científico.

Un ejemplo de lo anterior es la cuenca del río Magdalena, principal objeto de estudio de este libro, que ahora cuenta con una línea base de información integral de su condición ambiental y contexto social, lo que facilita la propuesta de estrategias innovadoras en un contexto socioecosistémico para el manejo de sus recursos naturales, las que gradualmente pueden ser incluidas en instrumentos legales. Asimismo, se conocen las estrategias para detectar la alteración de los ecosistemas a través de indicadores, los que comienzan a ser monitoreados para reconocer principalmente, el impacto antropogénico, en el espacio y en el tiempo. Además, para promover la administración del bosque y del río desde una visión de cuenca como unidad de manejo óptima, debe integrarse la participación de los actores locales para facilitar la gobernanza de los recursos naturales.

Las investigaciones en el área, establecen que la cuenca esta amenazada cotidianamente por diversos factores de deterioro, muchas veces irreversibles, como el crecimiento demográfico, la presión de los intereses inmobiliarios, la presencia de asentamientos irregulares, los conflictos por la tenencia de la tierra, el crecimiento de los poblados rurales, y la atomización de las parcelas agrícolas. Mientras que, sus bosques se ven afectados de manera directa por la tala ilegal, la incidencia de incendios, el pastoreo no controlado, las plagas y la contaminación del aire, suelo y agua; actividades que han deteriorado sus ecosistemas.

Por lo anterior, es fundamental consolidar a la cuenca del río Magdalena como un sitio de referencia de investigación básica y con mirada al largo plazo para que conjuntamente con la participación coordinada de la mayor parte de la sociedad local se desarrollen políticas públicas ambientales que favorezcan las acciones para su manejo en términos de aprovechamiento, rehabilitación y conservación del bosque, de los cuerpos de agua, y que directamente ayuden a mejorar y garantizar la calidad de vida de los pobladores locales y los de la ciudad. Estas acciones pueden llegar a buen término si se establecen formas de participación, comunicación y educación permanentes entre autoridades, habitantes, académicos y visitantes, esto lo hemos experimentado desde la academia y estamos convencidos de que es posible.

Finalmente esperamos que este libro sea el referente de un sistema socioecosistémico inmerso en una cuenca, con la conciencia de que es parte de una de las zonas urbanas con mayor número de habitantes en el mundo y que brinda una multiplicidad de servicios ecosistémicos a los habitantes de la Ciudad de México. Es una obra que puede interesar a muchas personas en diferentes regiones del país y del mundo. Esperamos que ayude a promover una conciencia sobre la importancia de los estudios ambientales, entendiendo que los humanos que la habitan y que la frecuentan son componente estructural y parte de su funcionamiento, quienes pueden apoyar o modificar procesos a diferentes escalas de espacio y tiempo y que requieren de canales de comunicación permanente y a largo plazo con autoridades y especialistas para su manejo. Solo de esta manera la cuenca del río Magdalena, mantendrá su importante función.

# Índice

Aviso legal	3
Prólogo	8
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>17</b>
Medio natural	18
Clima	33
Medio social	42
<b>II. BIODIVERSIDAD</b>	<b>56</b>
Fitodiversidad en el suelo de conservación y la zona ribereña urbana del Suelo de Conservación Contrerense	57
Las algas del río Magdalena	72
Estimación de la riqueza de macromicetos en bosques de oyamel de La Magdalena Contreras	87
Diversidad de ciliados (Alveolata: Ciliophora) en el río Magdalena	107
Anfibios y reptiles del Suelo de Conservación Contrerense	140
Avifauna de la cuenca del río Magdalena	158
Mamíferos silvestres del Suelo de Conservación Contrerense	179
<b>III. PROCESOS ECOLÓGICOS Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS</b>	<b>201</b>
Cantidad y calidad de agua en la cuenca del río Magdalena	202
La vegetación boscosa y el uso del suelo de la cuenca del río Magdalena	217
Muérdagos enanos: plantas parásitas que afectan el bosque de <i>Pinus hartwegii</i> de la cuenca del río Magdalena	244
Productividad primaria y descomposición: dos procesos ecológicos determinantes en el funcionamiento de los bosques de la cuenca del río Magdalena	255
El banco y la lluvia de semillas como fuentes de regeneración natural del bosque templado de la cuenca del río Magdalena	277
Análisis del efecto de los hongos micorrizógenos en el crecimiento y supervivencia de plántulas de árboles en la cuenca del río Magdalena	302
El valor indicador de las diatomeas y macroalgas bentónicas del	321

río Magdalena	321
Caracterización de la vegetación de las unidades ambientales de la cuenca del río Magdalena	337
<b>IV. LA DIMENSIÓN HUMANA EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA</b>	<b>354</b>
Características histórico-culturales, tenencia de la tierra y políticas públicas en la cuenca del río Magdalena	355
Plantas útiles y medicinales de la cuenca del río Magdalena	381
Arquitectura sostenible a través de un sistema integral para el manejo de agua en el río Magdalena	399
¿Qué son y cómo funcionan los servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena?	413
Propuesta de manejo del agua desde el enfoque de servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena	435
<b>Comentarios finales</b>	<b>449</b>
Las mariposas diurnas en el Suelo de Conservación Contrerense de La Magdalena Contreras	127