

Programa de Investigación en Cambio Climático 2012-2015 (PINCC)

Universidad Nacional Autónoma de México

Proyecto: *La cuenca del río Magdalena, D. F. como sitio de referencia para el monitoreo de los efectos del cambio climático*

Informe final

Responsable

Dr. Enrique A. Cantoral Uriza³
E-mail: cantoral@ciencias.unam.mx
Extensión UNAM: 34304

Participantes

Dra. Lucía Almeida Leñero¹
E-mail: lal1@ciencias.unam.mx
Extensión UNAM: 24920

Dr. Francisco Javier Álvarez Sánchez¹
E-mail: javier.alvarez@ciencias.unam.mx
Extensión UNAM: 44712

Dra. Guadalupe Barajas Guzmán¹
E-mail: mbarajas@ecologia.unam.mx
Extensión UNAM: 44712

M. en C. Miriam G. Bojorge García³
E-mail: mbg@ciencias.unam.mx
Extensión UNAM: 34311

Dr. Javier Carmona Jiménez¹
E-mail: javicar35@hotmail.com
Extensión UNAM: 24837

Dra. Silvia Castillo Argüero¹
E-mail: silcas@ciencias.unam.mx
Extensión UNAM: 44712

Dr. Joaquín Cifuentes Blanco²
E-mail: jcb@hp.ciencias.unam.mx
Extensión UNAM:

Dra. Maria Engracia Hernández Cerda⁴
E-mail: sequia@igg.unam.mx
Extensión UNAM: 45471

Dra. Marisa Mazari Hiriart⁵
E-mail: mazari@servidor.unam.mx
Extensión UNAM: 28998

¹ Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM *campus* Ciudad Universitaria, D. F., México.

² Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, UNAM *campus* Ciudad Universitaria, D. F., México.

³ Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, UNAM *campus* Juriquilla, Querétaro, México.

⁴ Instituto de Geografía, UNAM *campus* Ciudad Universitaria, D. F., México.

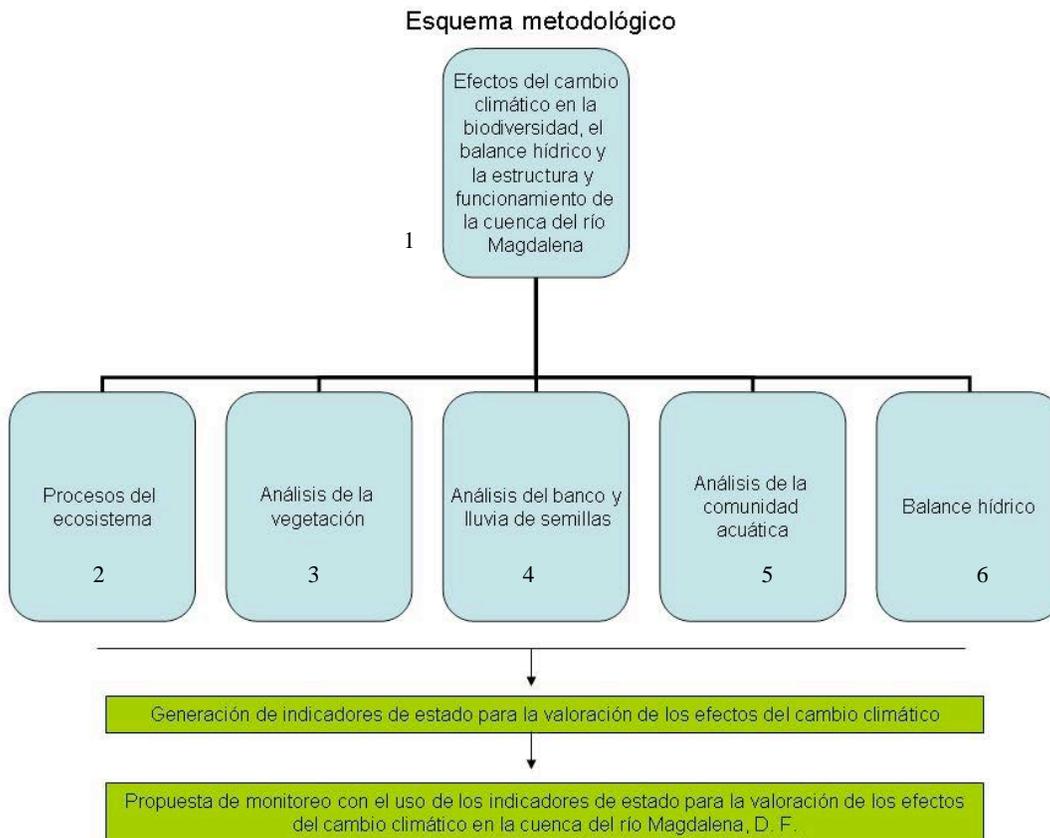
⁵ Instituto de Ecología, UNAM *campus* Ciudad Universitaria, D. F., México.

Contenido

Introducción.....	3
1. Clima.....	4
2. Procesos del ecosistema y biota edáfica.....	14
3. Análisis de la comunidad acuática	
3a) Monitoreo participativo en la cuenca del río Magdalena, D. F.	46
3b) Análisis de las macroalgas de la cuenca del río Magdalena para la búsqueda del valor indicador ecológico.....	48
4. Mapas de vulnerabilidad en la vegetación en relación a los CC globales.....	66
5. Otros productos.....	81
Libro	
Tesis	
Congresos	
Artículos	
Estaciones meteorológicas	

Introducción

Presentamos el informe final de los estudios que se llevan a cabo en la cuenca del río Magdalena en la Ciudad de México. Para ello, usaremos como referente el esquema metodológico planteado en el proyecto, con el fin de ubicar claramente los resultados presentados por varias de las áreas que se están estudiando y obteniendo información. A la información de la cuenca del clima, de los procesos del ecosistema y del análisis de la comunidad acuática, se incorporan los mapas de vulnerabilidad de la vegetación en relación a los cambios globales del clima, así como algunos productos obtenidos con apoyo del PINCC.



1. Clima

María Engracia Hernández

Por su ubicación en el centro del país, la Cuenca del río Magdalena en la Ciudad de México 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; mientras, que 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 1). 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 1. Fuentes e instituciones de las estaciones meteorológicas empleadas.

-
- **Estaciones históricas:** las que han sido suspendidas y cuentan con datos no actuales de temperatura y precipitación a nivel mensual, que sirven como información complementaria de apoyo en el trazo de las isolíneas. Archivos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

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

 - **Estaciones de la SMA:** de la Subdirección de Macromedición y Control de Redes, instancia de la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. Precipitación a nivel diario.

 - **Observatorio CU:** de la UNAM (Colegio de Geografía). 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 m snm del cerro del Muñeco, hasta los 2,470 m snm 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. 1). La mayor superficie presenta temperaturas medias menores a 12°C, (88%) 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 m snm. Por debajo de esta cota, la temperatura aumenta hacia el noreste (partes bajas), presentando condiciones de templado (12%). Por arriba de los 3,700 m snm, se presentan condiciones frías con temperaturas menores a 5°C, 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.

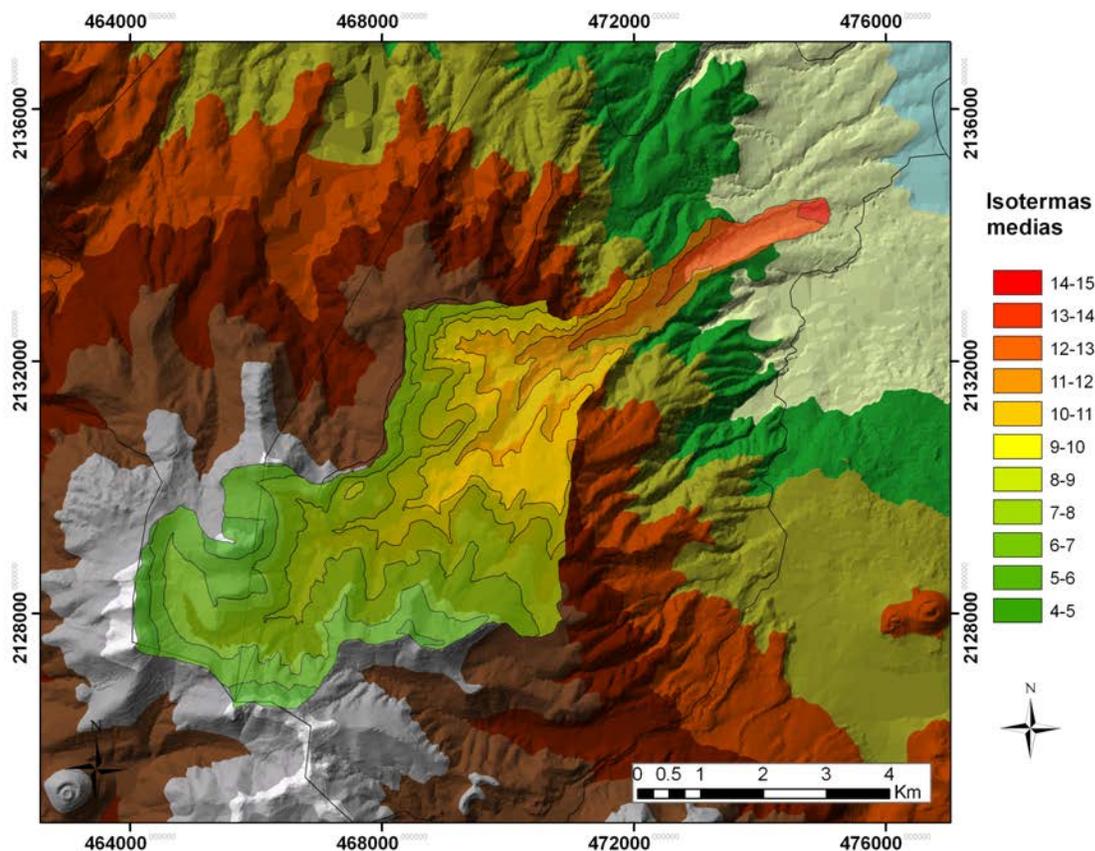


Figura 1. Temperatura media anual de la CRM, D. F.

La distribución espacial de la temperatura máxima anual se muestra en la figura 2. 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.

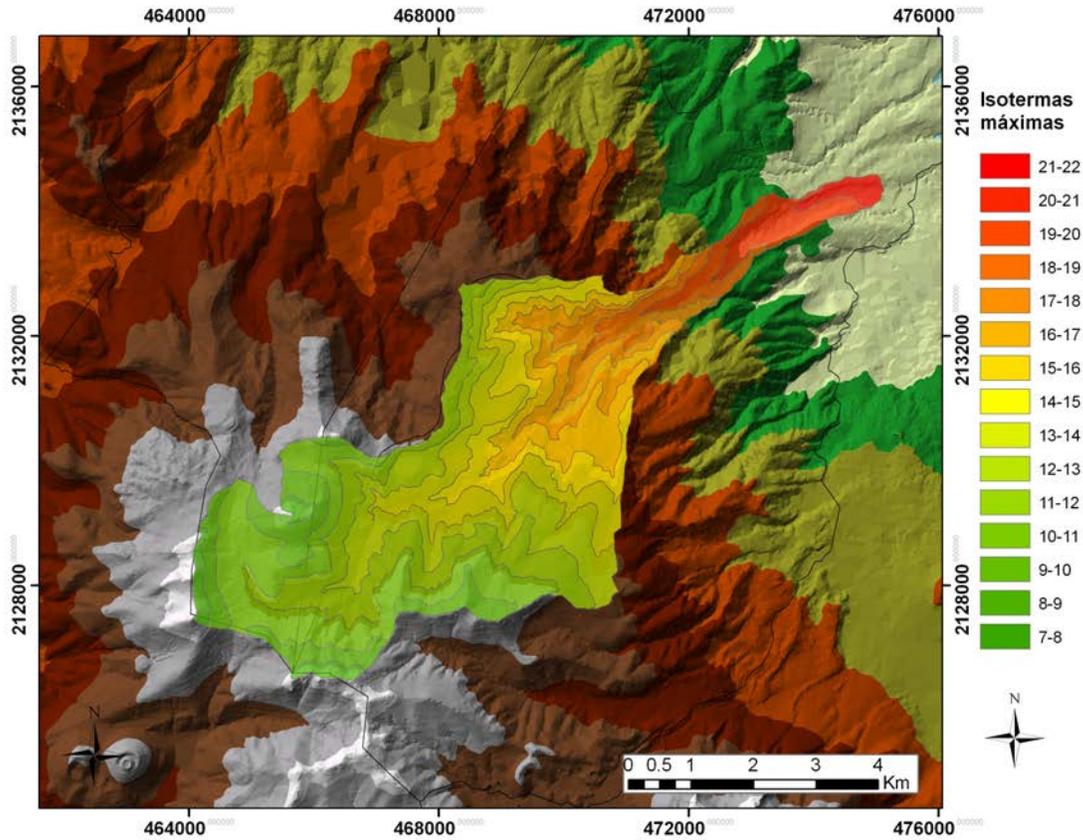


Figura 2. Temperatura máxima promedio anual CRM, D. F.

Con respecto a la temperatura mínima anual, se observa en la figura 3 que 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.

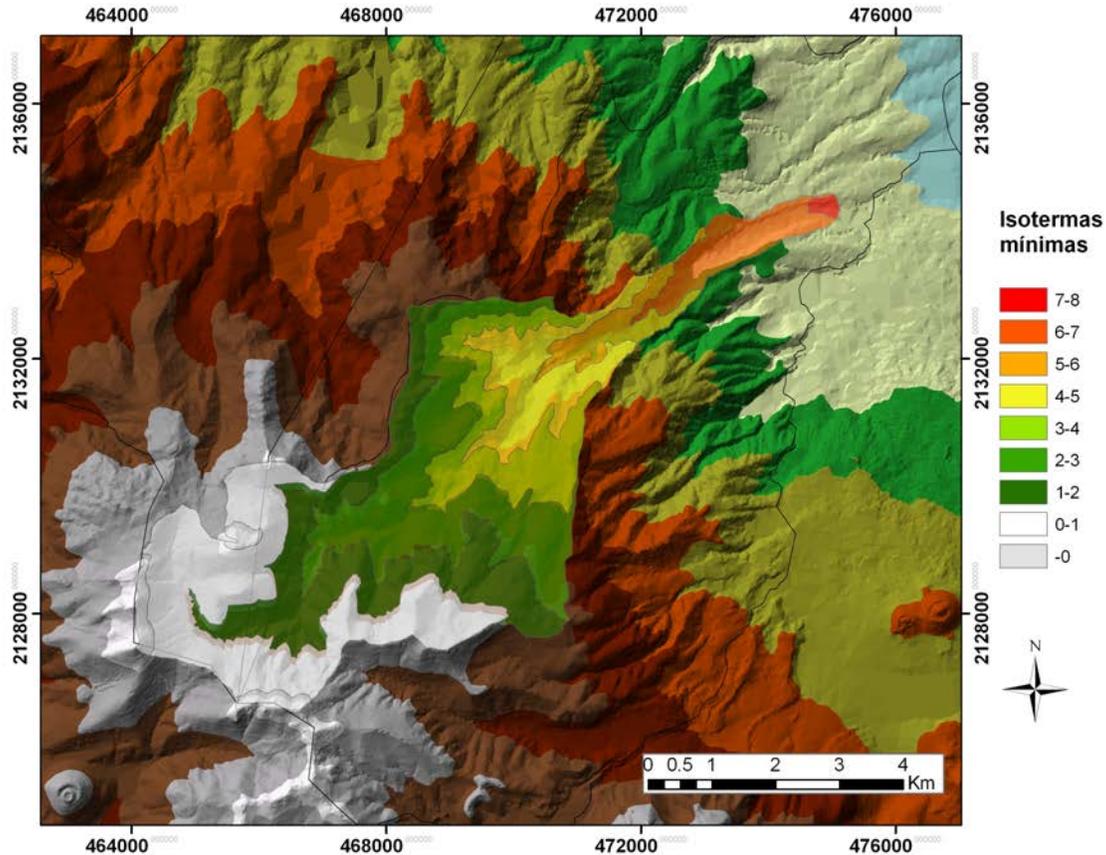


Figura 3. Temperatura mínima promedio anual en la CRM, D. F.

En general, la distribución de las isotermas sigue aproximadamente 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 cuenca, 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 puede deberse a 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 o parte alta de la cuenca que el fondo de un valle o parte baja de la cuenca, 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 m snm (Fig. 4), donde también se muestra que el mes más frío es enero y en donde la temperatura mínima extrema registrada en promedio alcanza valores negativos.

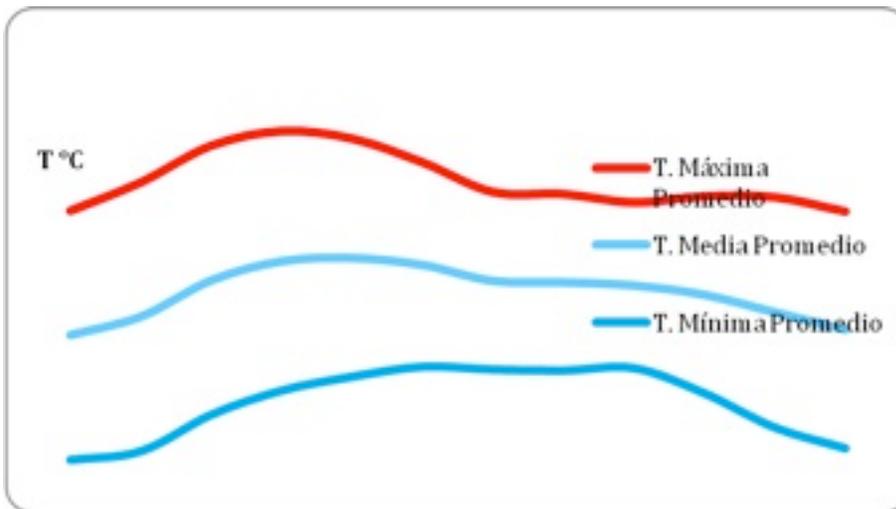


Figura 4. Temperaturas promedio a lo largo del año.

Condiciones de humedad

El régimen de lluvias en la CRM es de verano, pues 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. 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. 5).

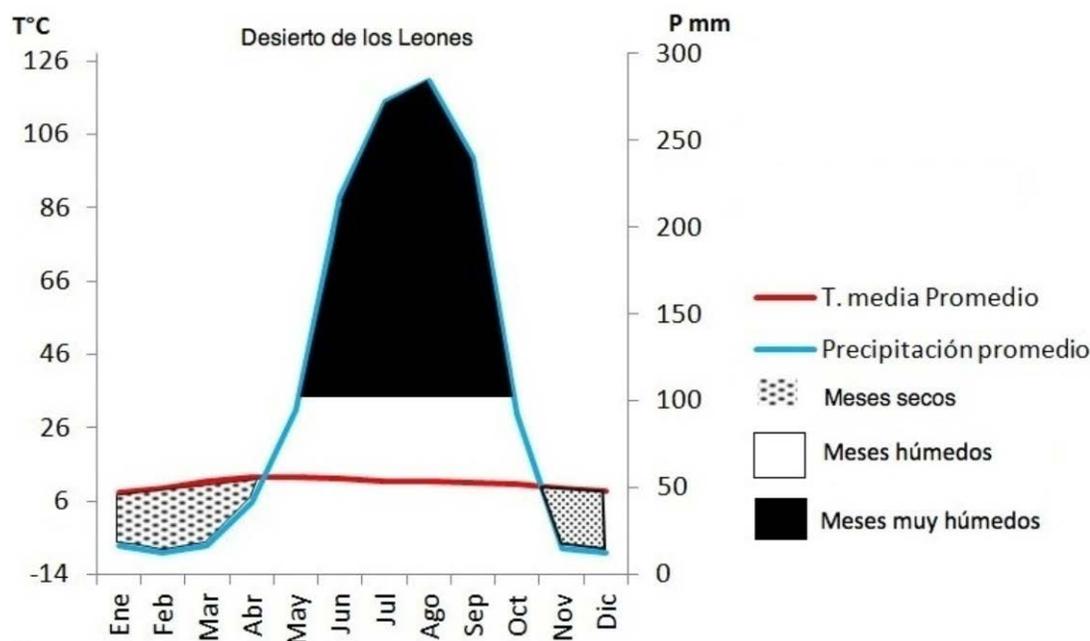


Figura 5. Diagrama ombrotérmico de la estación climatológica Desierto de los Leones, D.F.

La distribución espacial de la precipitación total anual se muestra en la figura 6. 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, abarca más de la mitad de la superficie de la cuenca (52.1%). A partir de aquí disminuye hacia el noreste, donde 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:

- a) la temperatura del aire y cómo varía con la altitud,
- b) la cantidad de humedad en el aire,
- c) variación vertical del viento y
- d) 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).

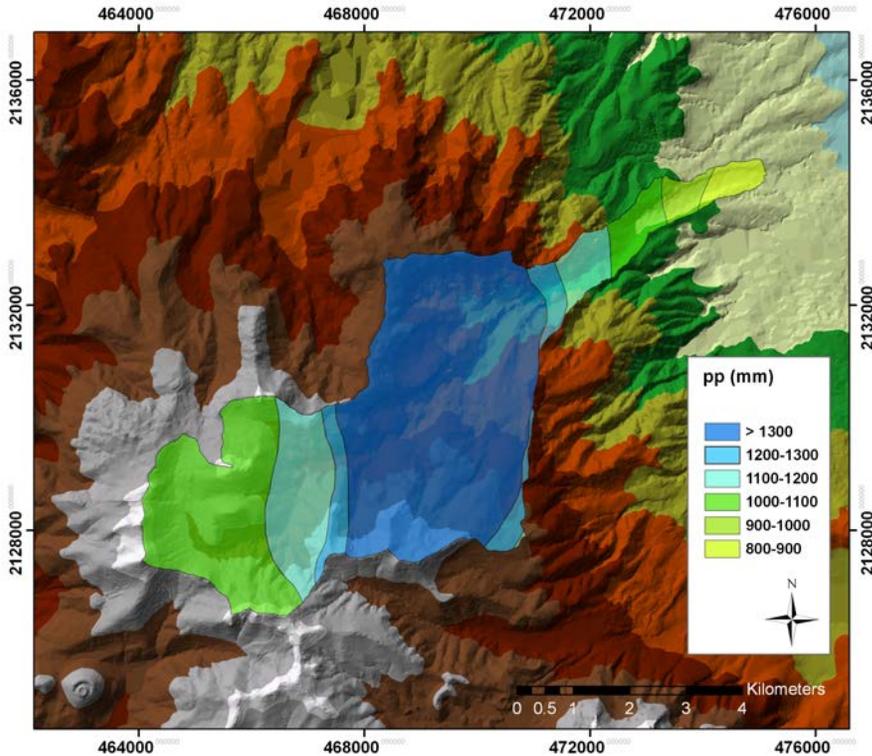


Figura 6. Precipitación total anual en la CRM, D. F.

Tipos climáticos

En la cuenca del río Magdalena se tienen tres tipos de climas definidos por sus condiciones térmicas, los cuales son: templado, semifrío y frío, (Fig. 7). 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.

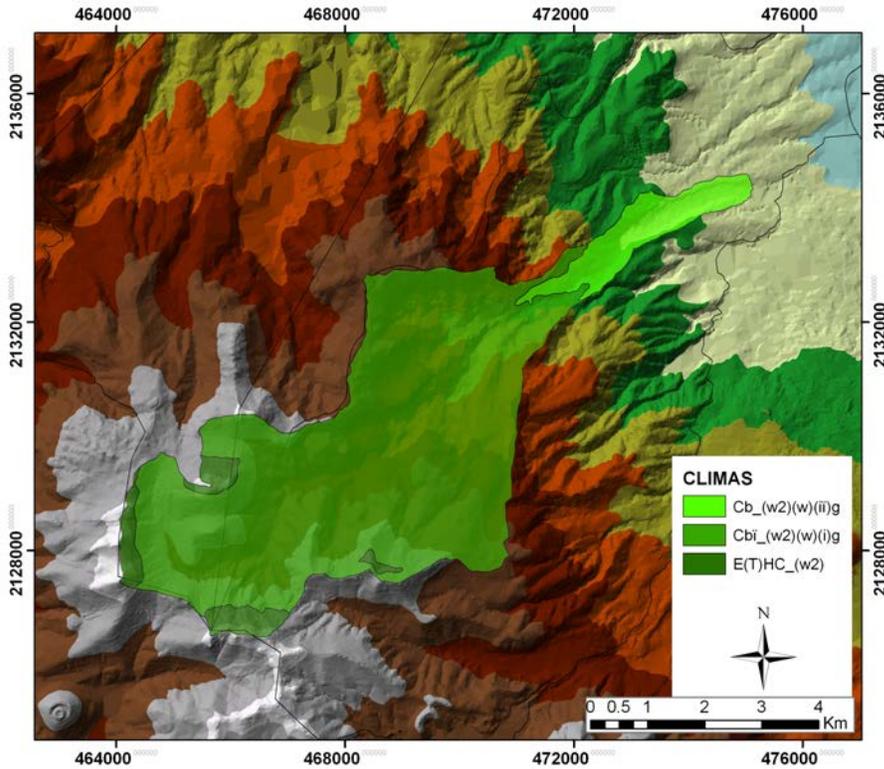


Figura 7. Tipos de climas en la CRM, D. F.

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 orografía y altitud son muy determinantes en el comportamiento de este parámetro.

Literatura citada

- García E. 1965. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. Publicaciones del Instituto de Geografía 1: 171-191.
- García, E. 1997. Carta de Isotermas Medias Anuales. CONABIO. México, D. F.
- García, E. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*, Quinta edición. Instituto de Geografía, UNAM. México. 90 pp.
- 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 ,UNAM. ISBN. UNAM (Obra General): 968-36-8090-9. ISBN: UNAM 978-970-32-4692-2.
- Leuschner, C. 2000. Are High Elevations in Tropical Mountains Arid Environments for Plantas? *Ecology* 81: 1425-1436.
- Sevruk, B. 1997. Regional dependency of precipitation-altitude relationship in the Swiss Alps. *Climatic Change* 36: 355-369.

2. Procesos del ecosistema y biota edáfica

Sabina León Huacuja, Dulce C. Hernández Rosales, Sally S. Paredes García, Diana J. Facio López, Felipe A. Martínez Rodríguez, Ignacio Palacios Ávila, Daniela A. Guzmán Ramírez, Diego Morales Rojas, Guadalupe Barajas Guzmán y Javier Álvarez Sánchez.

Objetivos generales

- Describir y analizar la estructura de la vegetación en sitios perturbados del bosque de *Abies religiosa* de la Cuenca del Río Magdalena, en el contexto de salud del ecosistema.
- Estimar la relación C/N del mantillo y suelo dentro del Bosque de *Abies religiosa*.
- Conocer la producción de CO₂ por parte de la biomasa fúngica del suelo en sitios perturbados y conservado.
- Estimar la producción de CO₂ en suelos de sitios perturbados.
- Describir la composición, riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en sitios perturbados durante las temporadas de lluvia y de secas, identificando los grupos indicadores de disturbio.
- Describir la variación espacio-temporal de la mesofauna del suelo del bosque de *Abies religiosa*, identificando los grupos indicadores de disturbio.
- Describir la riqueza y abundancia de hongos xiloprobios en relación a las características físicas y químicas de la madera de *Abies religiosa*, identificando las especies indicadoras de disturbio
- Indicadores para estimar el estado de conservación de los Procesos Ecosistémicos en la Cuenca del río Magdalena.

Método

Se muestrearon seis parcelas de 25 x 25 m situados en seis sitios en el bosque de *Abies religiosa* de la Cuenca Río Magdalena; de las cuales cinco presentaron disturbio y uno conservado (control) (Foto 1). Se ha realizado hasta el momento el muestreo de la época de lluvias.



Foto 1. Sitios muestreados con grado de perturbación (1- 5) y control (c).

Vegetación

Se seleccionaron cinco sitios perturbados y uno conservado en el bosque de *Abies religiosa*. El sitio 1 es el que presenta la menor altitud y el sitio 5 es el que presenta la mayor.

Se utilizó un muestreo con área en el que se estableció una parcela cuadrangular de 25 x 25 m, siguiendo las medidas utilizadas por Ávila (2002), Santibáñez (2009), Nava (2003) y Shaheen (2012), para medir los parámetros de los árboles: Perímetro a la Altura

del Pecho (PAP) y altura. En este cuadro también se contaron e identificaron los individuos con PAP menor a 16 cm. Éste método fue modificado de González-Espinosa *et al.* (1991).

Para el estrato arbustivo, se establecieron dos cuadros de 5 x 5 m, distribuidos sistemáticamente y se midieron el diámetro mayor (D1) y el perpendicular a éste (D2) de cada individuo que medía entre 50 y 299 cm.

Finalmente, en las mismas esquinas, se trazó un cuadro de 1 x 1 m para medir los parámetros del estrato herbáceo que se limitó a la plantas menores a 49 cm de altura y para las que se estimó el porcentaje que cubría cada especie del área total. Se contabilizaron también las plántulas de *Abies religiosa*.

Estas últimas dos medidas de cuadros se eligieron siguiendo el método de Shaheen *et al.* (2012). Las especies que no se reconocieron en el campo se recolectaron y prensaron para ser identificadas posteriormente.

Se calcularon parámetros estructurales como área basal, cobertura, densidad, frecuencia y Valor de Importancia Relativa. Se medirá la diversidad usando el índice de Shannon-Wiener, el de Sorensen y se analizará también la Equitatividad.

Suelo

En cada sitio, sistemáticamente, se tomaron 5 réplicas. Además se tomaron muestras de un sitio conservado como control.

Para determinar el C total, N total y MO, el suelo se secó el suelo a 60 °C durante tres días, se tamizó en una malla de 2 mm, para después moler 40 g en un pulverizador para suelos y obtener un polvo más fino.

Determinación de densidad aparente-humedad

En el campo se enterró un cilindro de metal de 100 cm³ a aproximadamente 8 cm en el suelo y se extrajo teniendo precaución de no perder muestra y se trasladó a análisis de laboratorio en hielera para no perder humedad.

Densidad real por el método del picnómetro

Se pesó con los picnómetros vacíos y secos, se añadió 5 g de suelo y después se agregó una tercera parte de agua destilada. Después de romperse la tensión, se llenó con agua hasta el cuello del picnómetro y se eliminó todas las burbujas dejando salir una gota de agua del capilar. Se volvió a pesar el picnómetro, se vació y se rellenó con agua, midiendo la temperatura de ésta para poder determinar su densidad según tablas. Las muestras de suelo seco y molido se etiquetaron y guardaron en sobres para posteriores análisis en el Colegio de Posgraduados de Chapingo (COLPOS).

Mantillo

Las muestras de mantillo fueron sometidas a secado en estufa durante 3 días a 60° C. Posteriormente se pulverizaron en un molino electrónico de rotor (Pulverisette 14 de velocidad variable). Las muestras se almacenaron para posteriores determinaciones. A cada muestra de mantillo se le determinó C total y N total en el COLPOS.

Respiración del suelo

Se ha realizado hasta el momento el muestreo de la época de lluvias. De cada parcela se muestreo cada esquina, obteniendo una muestra de suelo con un tubo de PVC de 13 cm de largo por 7 cm de diámetro. Las muestras obtenidas se mezclaron para obtener una mezcla compuesta, y se almacenaron en el refrigerador. Una vez almacenadas, se obtuvieron ocho réplicas por cada parcela, teniendo un total de 56 muestras. Las primeras 28 réplicas se sometieron a secado, por lo tanto, se pesaron 50 g de suelo y se colocaron en un vaso de precipitados de 100 ml, los cuales se introdujeron a un horno a una temperatura de 105 °C durante 72 horas. Pasado este tiempo, fueron pesadas nuevamente para obtener la diferencia de peso, y de esta forma conseguir el peso seco del suelo y la humedad del mismo.

$$\text{gramos de H}_2\text{O por gramos de suelo} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}}$$

Las siguientes 28 réplicas se sometieron al método de Isermeyer (1952) + ácido láctico, para matar a las bacterias y solo obtener la respiración de la biomasa fúngica. Para obtener los mg de CO₂ de las muestras, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{CO}_2(\text{mg})/\text{SW}/\text{t} = \frac{(\text{V}_0 - \text{V}) \times 1.1}{\text{dwt}}$$

Dónde:

SW= Cantidad de suelo en gramos

t= Tiempo de incubación en horas

V₀= HCl usado en la titulación

V= HCl para la muestra de suelo

dwt= Peso seco de 1g de suelo húmedo

1.1= factor de conversión (1 ml 0.05 M de NaOH es igual a 1.1 mg de CO₂)

Macrofauna

En cada parcela, se elaboraron sistemáticamente tres monolitos, de 25 × 25 × 30 cm, segmentándolos en tres estratos 10 cm de profundidad. Cada estrato fue examinado en charolas, extrayendo de forma manual a la macrofauna. Los organismos encontrados fueron conservados de la siguiente manera: lombrices en formol al 4% (v/v), los grupos restantes de animales fueron conservados en alcohol al 70 % (v/v). En el laboratorio fueron contabilizados, divididos en morfotipos y por último fueron pesados.

Mesofauna

Dentro de cada monolito, se realizaron 3 monolitos más pequeños de 5 x 5 cm de superficie y 10 cm de profundidad para cada una de las 3 profundidades. Las muestras de suelo fueron depositadas en embudos de Berlese-Tullgren en el laboratorio de Biología de Microartrópodos, durante un periodo de 9 días a temperatura ambiente para obtener los organismos pertenecientes en frascos con alcohol al 70%. Las muestras fijadas se analizaron bajo un microscopio estereoscópico. Los organismos encontrados se contabilizaron y se separaron a nivel de morfoespecies en frascos de vidrio con alcohol al 70% para su posterior determinación taxonómica.

Macromicetos xilosaprobios

Se seleccionaron los troncos caídos y tocones que tuvieran al menos 2 esporomas en su superficie. De cada tronco seleccionado se midió el largo y ancho y se tomó una muestra de madera; en cuanto los hongos presentes, se contó el número de morfoespecies y el número de esporomas por morfoespecie. Finalmente se recolectaron los esporomas de cada morfoespecie.

En el laboratorio se pesaron las muestras de madera en fresco para obtener el peso húmedo, después se metieron a la estufa durante 5 días a 105 °C y se repitió el proceso de pesado para obtener el peso seco. Las muestras de madera se guardaron para obtener la densidad y posteriormente se van a triturar para obtener la concentración de Carbono y Nitrógeno.

En el laboratorio se hizo una breve descripción de características macroscópicas de los esporomas en fresco; después éstos se colocaron en una secadora durante 24 horas y posteriormente se guardaron en cajas de cartón para su posterior determinación taxonómica.

Indicadores de procesos ecosistémicos

a) *Revisión bibliográfica para los datos de Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA), caída de hojarasca y relación C:N del suelo.*

Para la elaboración de los índices de PPNA, caída de hojarasca y C:N se realizó una búsqueda de trabajos en diversas bases de datos; los datos obtenidos provienen de estudios que se llevaron a cabo en bosques de Pino, Oyamel y Encino ubicados en diferentes regiones del mundo (latitudes diferentes). En el caso de la PPNA y caída de hojarasca, los datos que se reportan son medias anuales y se encuentran expresados en las unidades de [Mg / ha * año]. Para la relación C:N del suelo se tomaron en cuenta los datos con las mismas unidades.

b) *Obtención de índices.*

Con los datos internacionales se elaboraron cuadros comparativos. La información de PPNA, caída de hojarasca y relación C:N del mantillo y suelo se organizó en cuatro cuadros comparativos, las referencias se encuentran ordenadas por latitudes y divididas en los tres tipos de bosque (Pino, Oyamel y Encino), en cada cuadro se indica la media reportada para cierta latitud específica con su referencia correspondiente y la media obtenida en los trabajos de la Cuenca del Río Magdalena Contreras (CRM); con los promedios reportados en la bibliografía se obtuvo un promedio de cada variable para cada tipo de bosque a nivel mundial, latitudinal y nacional. Los índices se construyeron a partir de la relación de la media obtenida de los valores observados en la Cuenca del Río Magdalena (CRM) entre el valor mínimo, máximo y media de referencias que se obtuvieron en la búsqueda bibliográfica.

$$\text{Índice} = \frac{\text{Valor reportado en la CRM}}{\text{Valor bibliografico mínimo, máximo y promedio}}$$

c) *Determinación del estado de conservación de los procesos ecosistémicos de PPNA, caída de hojarasca y relaciones C:N en suelo.*

Los valores cuantitativos obtenidos de los índices fueron evaluados de la siguiente manera:

Cuando el resultado de la relación entre el valor obtenido en la CRM (numerador) y el valor bibliográfico (denominador) sea igual o similar a uno, esto significará que los datos

registrados en la CRM son muy similares o parecidos a los valores máximos, mínimos o media internacionales y que no existen diferencias considerables.

Si el resultado de la relación del valor de la CRM entre el valor bibliográfico es menor a uno esto querrá decir que la CRM se encuentra por debajo de la PPNA mínima, máxima o media internacionales. Cuando el resultado de la relación sea mayor a uno, la CRM será más alta que la mínima, máxima o media internacionales. Todo para cada tipo de bosque (pino, oyamel y encino) y comparación (internacional, latitudinal y nacional).

Resultados y Discusión

Vegetación

En la Tabla 1 se muestra el orden de los sitios luego de una primera aproximación por el grado de perturbación que presentan. El sitio 4 es el que se identificó como el más perturbado y el sitio 3 como el menos perturbado, seguido del sitio conservado.

En el estrato arbóreo se observa un aumento en el área basal (AB) conforme el sitio presentó un menor grado de perturbación. El sitio 4, que es un pastizal, no tiene árboles y el sitio 3 es el que presentó mayor AB antes del conservado (Figura 1). En cuanto a la riqueza de especies, los sitios 3 y el conservado presentan prácticamente sólo *A. religiosa* (en el conservado sólo un individuo de 62 no fue *A. religiosa*). La mayor riqueza se observa en el sitio 2, sin embargo algunas de las especies han sido identificadas como malezas, lo cual es un indicador de perturbación (Figura 1).

Tabla 1. Resumen de la riqueza y parámetros estructurales para cada sitio.

Sitio	Estrato arbóreo	Estrato arbustivo	Estrato herbáceo
4		2 especies, 21 individuos, cobertura de 449 702 cm ² . La más abundante es la especie 1 y la de mayor cobertura es <i>Senecio cinerarioides</i> con 425 132 cm ²	16 especies con 212 % de cobertura. La de mayor cobertura es un pasto no identificado (90 %)
5	2 especies, 10 individuos. La más abundante es <i>Pino</i> sp. Alturas entre 5 y 19 m	3 especies, 49 individuos, y 535 551 cm ² de cobertura. <i>Acaena elongata</i> es la de mayor abundancia (25) y cobertura (217 891 cm ²)	7 especies con cobertura de 171 %; la de mayor es <i>Acaena elongata</i> (130 %)
1	2 especies: <i>Abies religiosa</i> y una no identificada. 10 individuos. Alturas entre 7 y 35 m	18 especies y 217 individuos. Cobertura total de 184 775 cm ² . <i>Salvia gesneriflora</i> presenta la mayor abundancia con una cobertura de 31 604.75 cm ² , sin embargo, la de mayor cobertura es la especie F con 48 069 cm ²	11 especies con cobertura del 159 %. <i>Alchemilla procumbas</i> es la de mayor cobertura (80 %)
2	4 especies, 16 individuos. La mayor abundancia es <i>Sambucus nigra</i> con 7 (maleza). Alturas entre 3 y 37 m	16 especies, 205 individuos y cobertura de 408 307 cm ² . La especie no identificada 2 presenta la mayor abundancia (61) y cobertura (133 394 cm ²)	9 especies con cobertura del 45 %; la de mayor es la especie no identificada “5” (15 %)
3	1 especie: <i>Abies religiosa</i> , 15 individuos. Alturas entre 10 y 37 m	11 especies, 196 individuos, 388 895 cm ² de cobertura. La especie no identificada 2 presenta la mayor abundancia (55) y cobertura (147 235 cm ²)	7 especies con cobertura del 48 %; la de mayor es la especie no identificada 3 (20 %)
Conservado	2 especies, 62 individuos: <i>Abies religiosa</i> y <i>Ribes ciliatum</i> . <i>A. religiosa</i> es la más abundante con 61. Alturas entre 8 y 35 m		

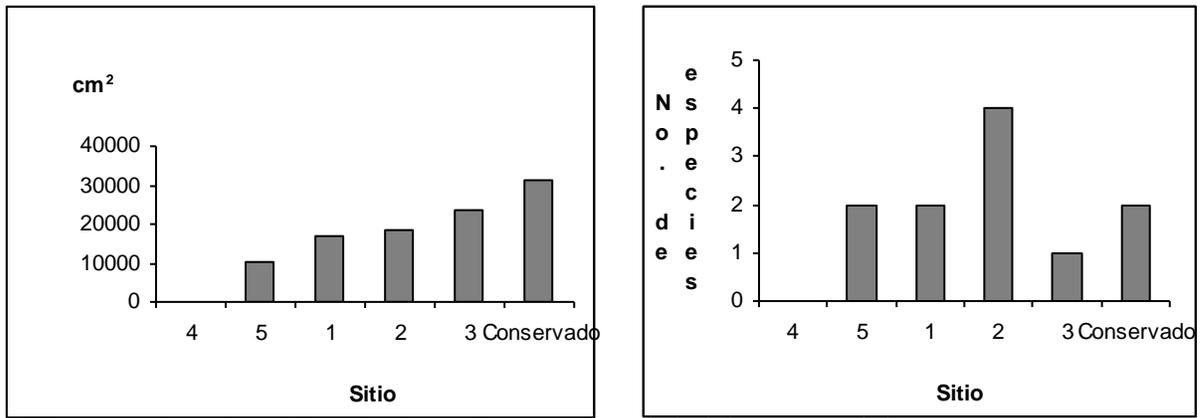


Figura 1. Area basal (izquierda) y riqueza (derecha) del estrato arbóreo.

La mayor cobertura del estrato arbustivo se observa en el sitio 5, el cual se propone como el segundo más perturbado; y es seguido por el sitio 4, que es el más perturbado. Sin embargo en ambos se observa una baja riqueza (Figura 2). Éstos son seguidos por el sitio 1 que presenta la riqueza arbustiva más alta, pero la menor cobertura. En los siguientes sitios, la riqueza disminuye hasta llegar a la menor que se observa en el sitio 3 y en el conservado, el cual no presenta arbustos (Figura 2).

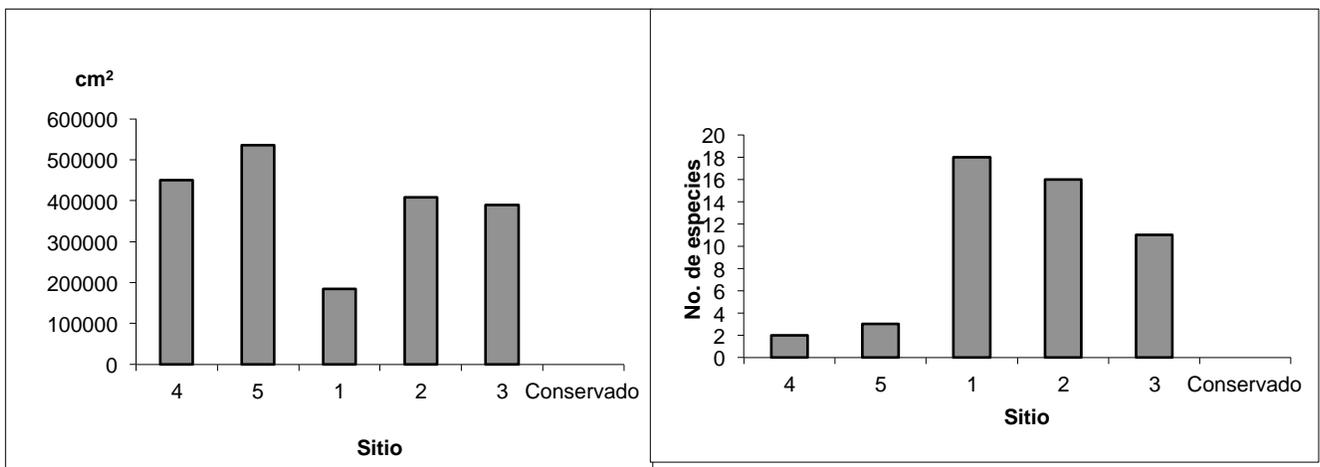


Figura 2. Cobertura (izquierda) y riqueza del estrato arbustivo.

En el estrato herbáceo se observa una disminución de la cobertura conforme disminuye el grado de perturbación: en el sitio 4, que es un pastizal, se observa la mayor cobertura, en los sitios 2 y 3 se observa la menor y son seguidos por el conservado que no presenta estrato arbustivo (Figura 3). En la riqueza de especies de este estrato se observa una tendencia parecida en la que en general disminuye conforme disminuye el grado de perturbación (Figura 3).

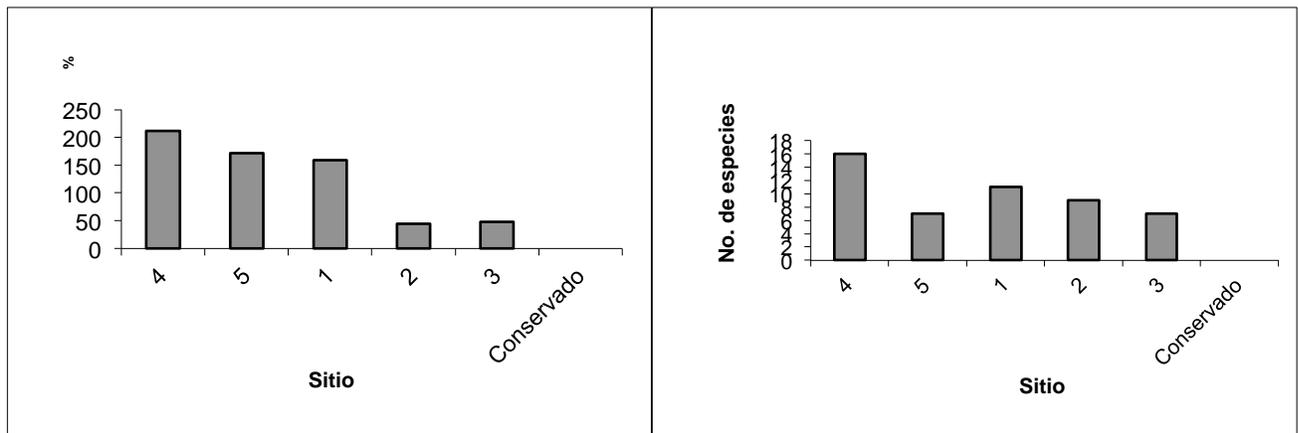


Figura 3. Cobertura (izquierda) y riqueza (derecha) del estrato herbáceo.

Del trabajo de campo falta la identificación de 60 % de las especies y, con respecto a los datos, faltan los análisis del Valor de Importancia Relativa y los relacionados con diversidad.

Suelo

El material colectado durante la época de lluvias ya se procesó y se tienen los datos de densidad real y aparente; la densidad real fue más baja en el sitio conservado (1.5 g cm^3) que en los sitios perturbados; el sitio 1 tuvo el doble de este valor.

Sin embargo, se está en espera de los resultados de C Total, N Total, MO que están determinándose en el Colegio de Posgraduados, Chapingo (COLPOS) para obtener resultados de la relación C/N.

Respiración del suelo

En la figura 4 se observan los $\text{mg de CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de suelo seco día^{-1} que está produciendo la biomasa fúngica del suelo. Se observa que los sitios 3 y 5 presentan la tasa de respiración menor y mayor, respectivamente. De manera que, el sitio más abierto y por tanto más perturbado (sitio 5), es el que presentó la producción más alta de CO_2 . Se tiene reportado que para los suelos de bosques templados, la producción de total CO_2 es en promedio 0.06 a $0.07 \text{ mg de CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de suelo seco día^{-1} (Ikkonen *et al.*, 2004). La producción de CO_2 de la CRM de la biomasa fúngica es de $0.005 \text{ mg de CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de suelo seco día^{-1} , y la producción total de CO_2 total es de $0.667 \text{ mg de CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de suelo seco día^{-1} (Paredes-García, en prep.), por lo que es 133 veces mayor que la de la biomasa fúngica.

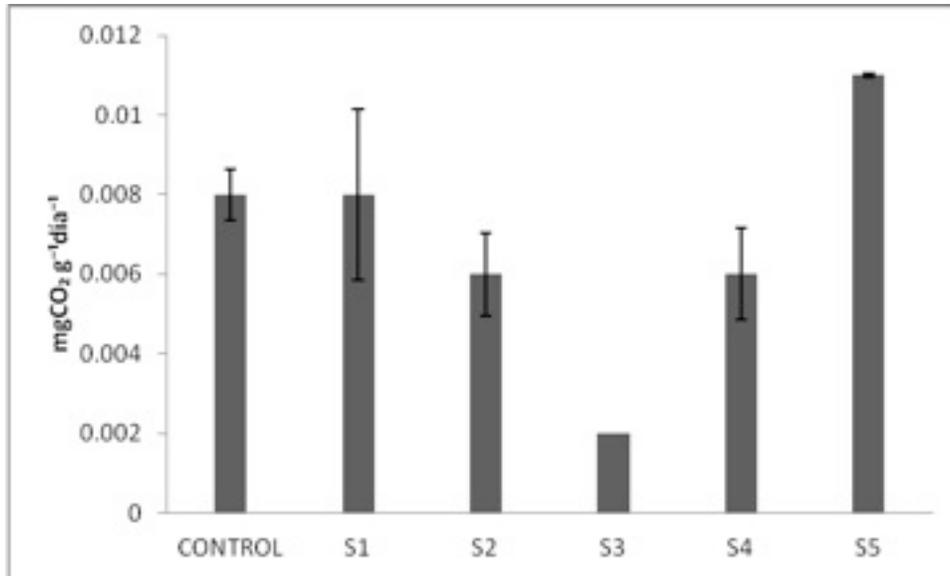


Figura 4. Respiración del suelo (Media±EE) del bosque de *Abies religiosa* en la Cuenca del Río Magdalena.

En la figura 5 se muestran los promedios de las 4 réplicas de cada sitio de mg de CO₂ producido. Cada sitio cuenta con un grado de perturbación distinto a diferencia del sitio control el cual se encuentra en un estado conservado, mostrando la mayor producción de CO₂ bacteriano. En comparación con estudios realizados en bosques templados en México y Rusia (Larionova *et al.*, 2001; Ikkonen *et al.*, 2004) en los que en promedio la producción de CO₂ va desde 0.06 hasta 0.7 mg de CO₂ g⁻¹, los datos obtenidos son altos, sin embargo de acuerdo a Lou y Zhou (2006), estos niveles se encuentran dentro de los rangos reportados para bosques templados.

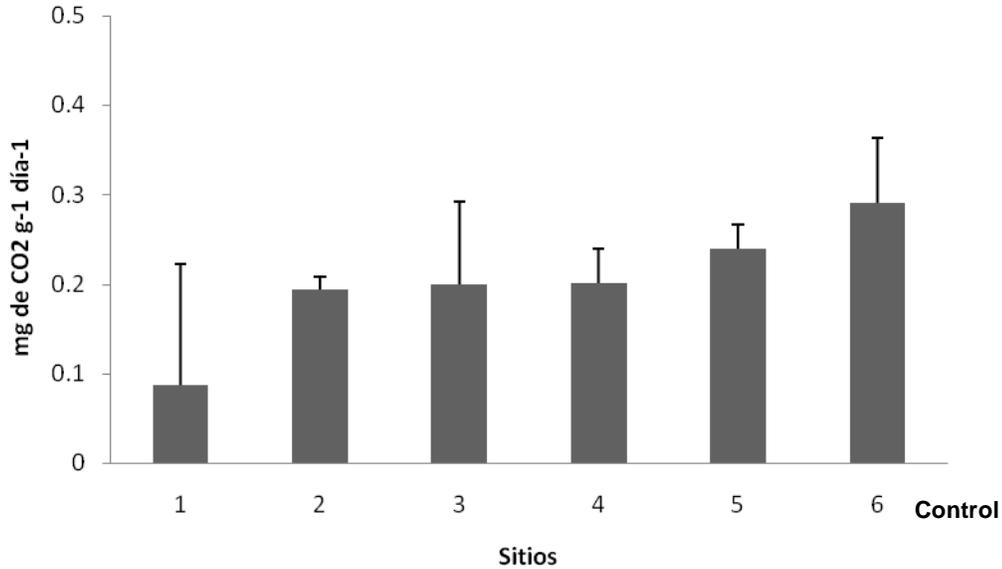


Figura 5. Producción promedio de CO₂ (±EE) de cada sitio.

Macrofauna

Con un avance del 35 %, se tiene información sobre la abundancia y peso de los organismos en la época de lluvias. Se ha empezado a determinar los organismos, hasta nivel de Familia, y hasta el momento se tienen identificados: 9 órdenes con 17 familias (Tabla 2).

Se contabilizó el número de individuos por sitio y por estrato (Figuras 6 y 7). El sitio control el que contiene un mayor número de individuos ($\bar{x} = 294$), ya que presenta condiciones más conservadas, donde la compactación del suelo es baja, lo que permite un medio favorable para la macrofauna, aunque presenta un error estándar con un valor de 209, posicionándolo como el valor más elevado, esto se debe probablemente, a que, a pesar

de estar en un mismo sitio, los monolitos presentaban ciertas diferencias como por ejemplo, la cantidad de materia orgánica. Los demás sitios guardan una heterogeneidad menor.

Tabla 2. Clasificación taxonómica de los organismos que componen la macrofauna edáfica del bosque de *Abies religiosa*.

Orden	Suborden	Familia	
Aranae	Mygalomorphae	Nemesiidae	
		Aranaomorphae	Agelenidae
			Mimetidae
			Lyniiphidae
			Dyctinidae
		Lycosydae	
Coleoptera	Polyphaga	Curculionidae	
		Scarabaeidae	
		Staphylinidae	
Homoptera	Sternorrhyncha	Aphididae	
Hemiptera	Heteroptera	Enicocephalidae	
		Cydnidae	

Geophilomorpha	_____	Geophilidae
Lithobiomorpha	_____	Lithobidae
Haplatoxida	_____	Lumbricidae
Diptera	Nematocera	Tipulidae
Lepidoptera	Glossata	Arctiidae

El sitio 3 es el lugar que posee el mayor grado de disturbio edáfico ya que contiene el menor número de individuos y su vez el de mayor homogeneidad de condiciones, esto en base a su error estándar, que es el menor de los seis sitios.

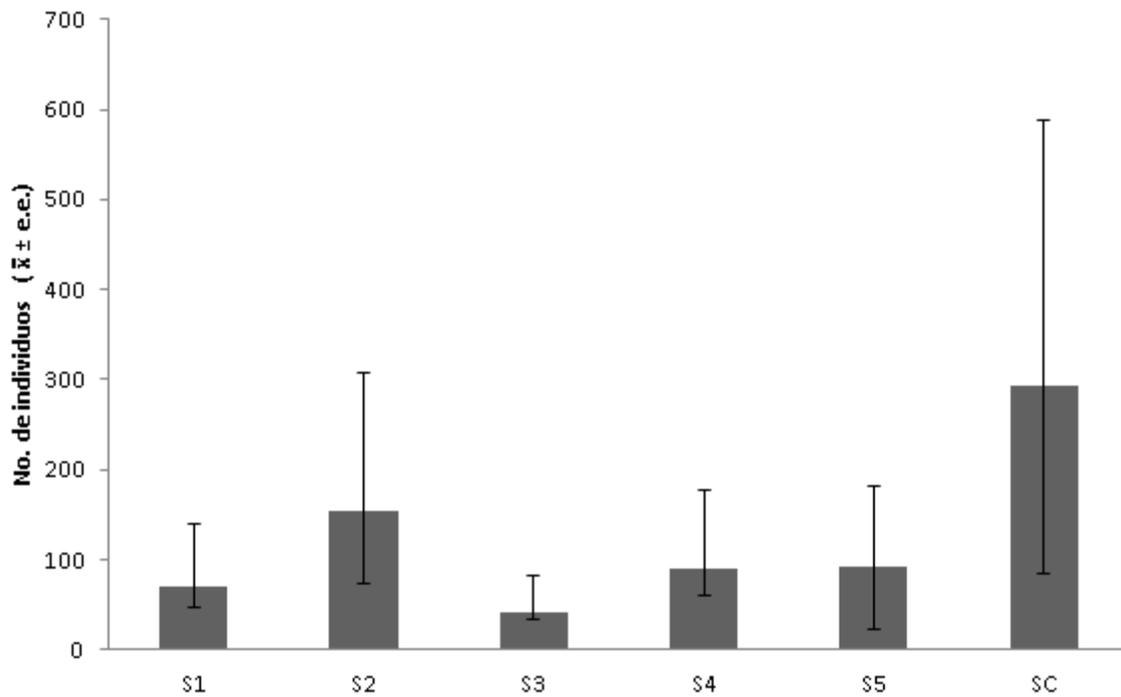


Figura 6. Promedio (±EE) de la abundancia de cada uno de los seis puntos.

Por otro lado, la abundancia en cada uno de los estratos fue mayor en el primer nivel de los monolitos, con un promedio de 110 individuos, debido a que en este nivel, se presentan ciertas características, por ejemplo, hay una mayor cantidad de raíces, que para varios animales, les sirven de alimento, haciendo que su población crezca, en tanto que a mayor profundidad, estos sustratos van disminuyendo y con ello también el número de individuos de los distintos grupos.

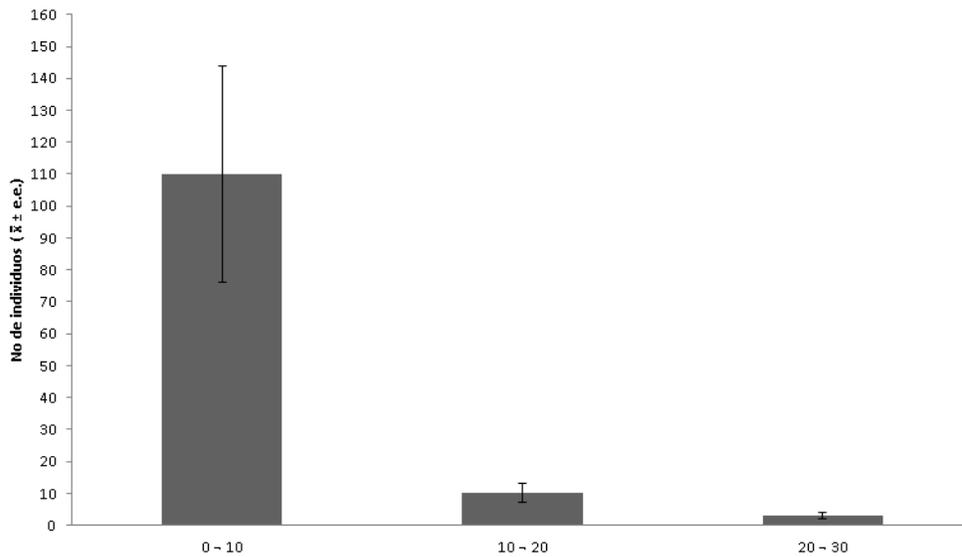


Figura 7. Abundancia promedio (\pm EE) dividida por profundidad.

La biomasa total, organizada por sitios (Figura 8), muestra promedios muy parecidos, en contraste con la gráfica de la figura 6, que muestra valores muy variados en el número de individuos.

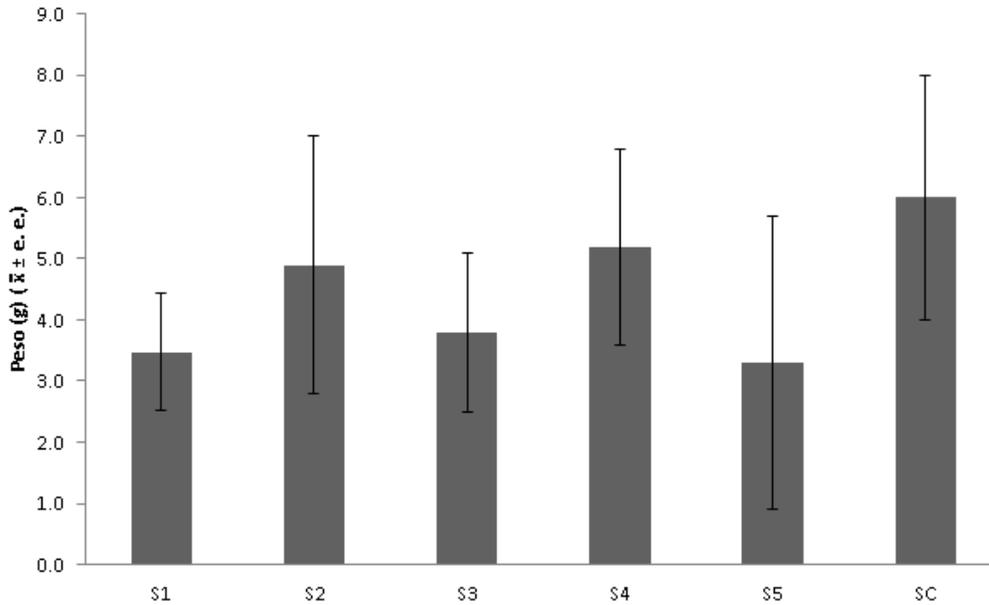


Figura 8. Promedios (\pm EE) del peso de los organismos por sitio.

El peso de la macrofauna dividida por profundidad, es mayor en el estrato que va de 0-10 cm de los monolitos (Figura 9), debido a que en esta zona es donde se encuentra el grupo que presenta el mayor peso, las lombrices de tierra, favoreciendo a que exista cierta homogeneidad en la distribución del peso en este estrato. El peso de los estratos restantes es notablemente menor, en primera por que la abundancia como ya se citó anteriormente es menor, y además el peso de los organismos encontrados en estos niveles es muy pequeño y casi no se encuentran animales grandes como las ya mencionadas lombrices de tierra, que podrían aportar una biomasa mayor a estos estratos.

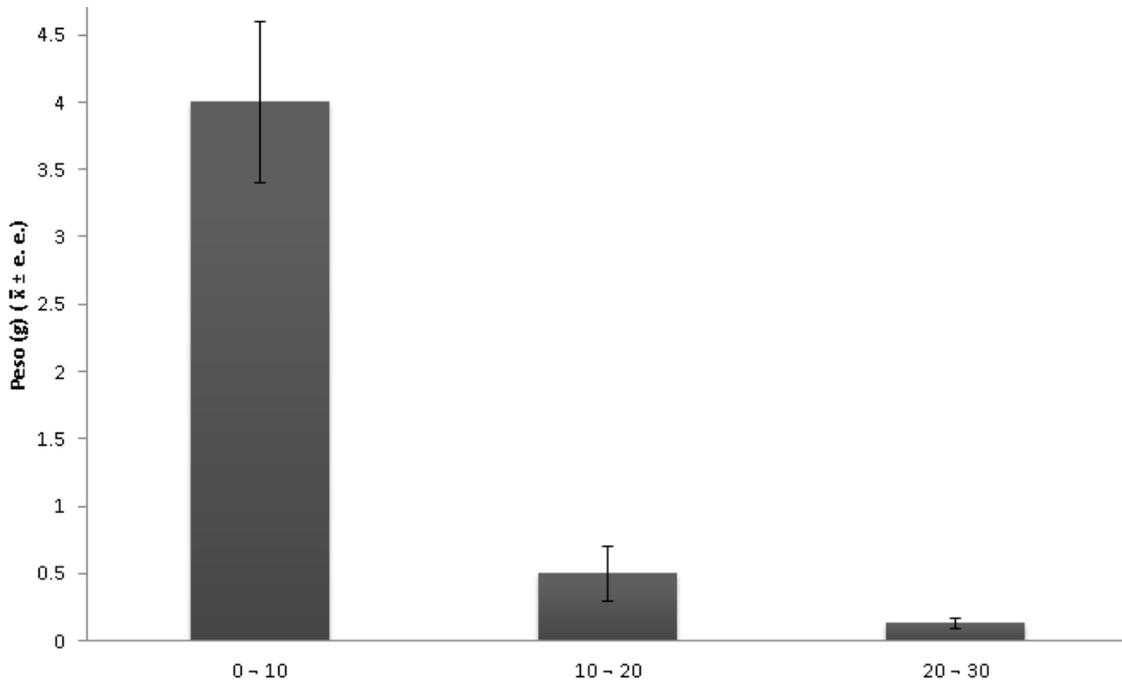


Figura 9. Distribución del peso promedio (\pm EE), en cada profundidad.

Mesofauna

En la figura 10 se muestra el número de individuos totales en el sitio 3. Se encontraron cinco taxones, de los cuales, los anélidos son los más abundantes con 73 individuos, les siguen los ácaros con 34 individuos, los colémbolos presentan una abundancia de nueve individuos, se encontraron dos individuos pertenecientes al grupo de los coleópteros, por último, los dípteros son el taxón menos abundante con la presencia de un solo individuo.

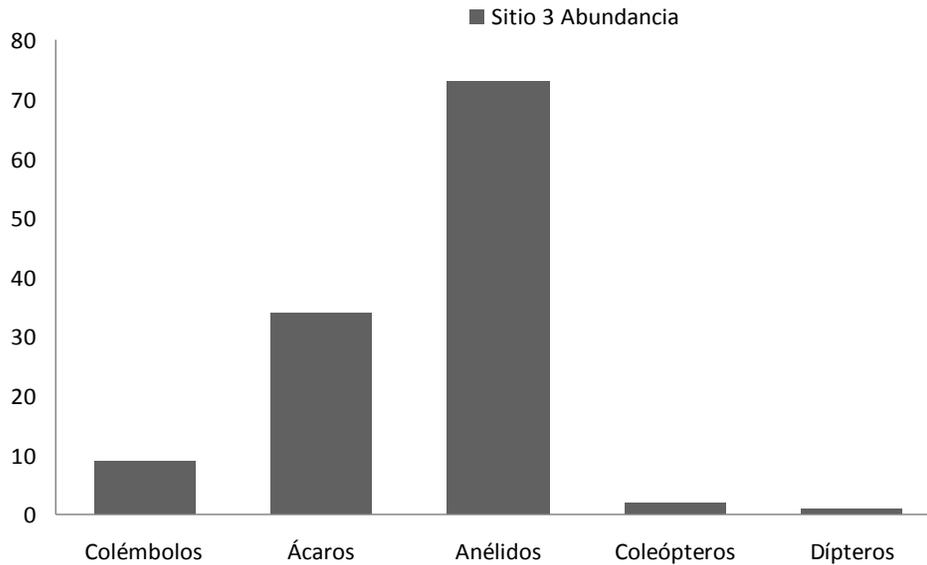


Figura 10. Total de individuos de la mesofauna.

En la figura 11 se señala el número de individuos totales en el sitio 5. Para éste sitio, se hallaron cinco taxones. Los colémbolos son los organismos más abundantes (299 individuos); los ácaros presentan una abundancia de 95 organismos, los anélidos están presentes con 22, les siguen los tisanópteros con tres y finalmente, los coleópteros son los menos abundantes. En esta parcela no se observaron dípteros. Esta es la parcela con mayor abundancia (420 organismos). De igual forma, el sitio 7 muestra la presencia de cinco taxones, siendo más abundantes los colémbolos al presentar 123 individuos, los ácaros les siguen con una abundancia de 86, luego los miriápodos tienen la menor abundancia con solo tres individuos, y éstos no se observaron en las parcelas anteriores (Figura 12).

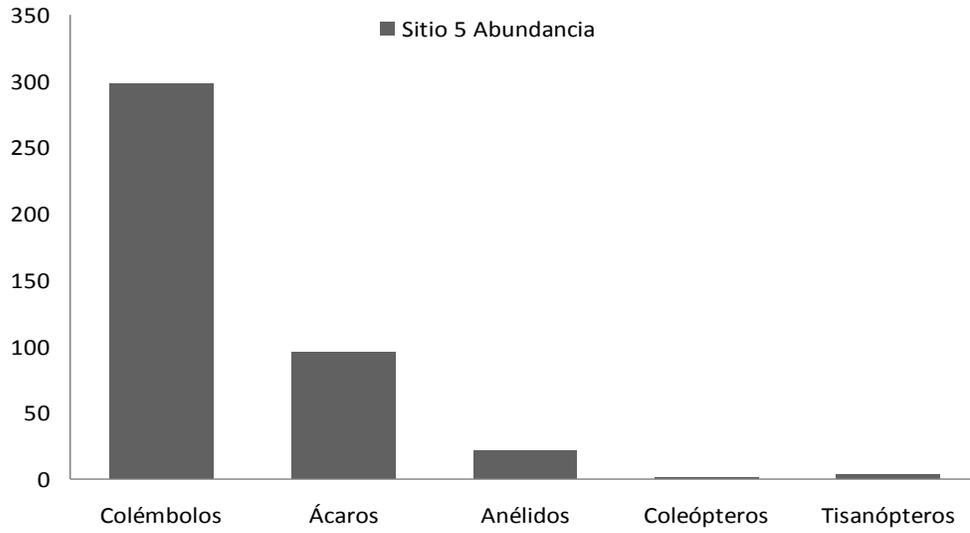


Figura 11. Total de individuos de la mesofauna para el sitio 5.

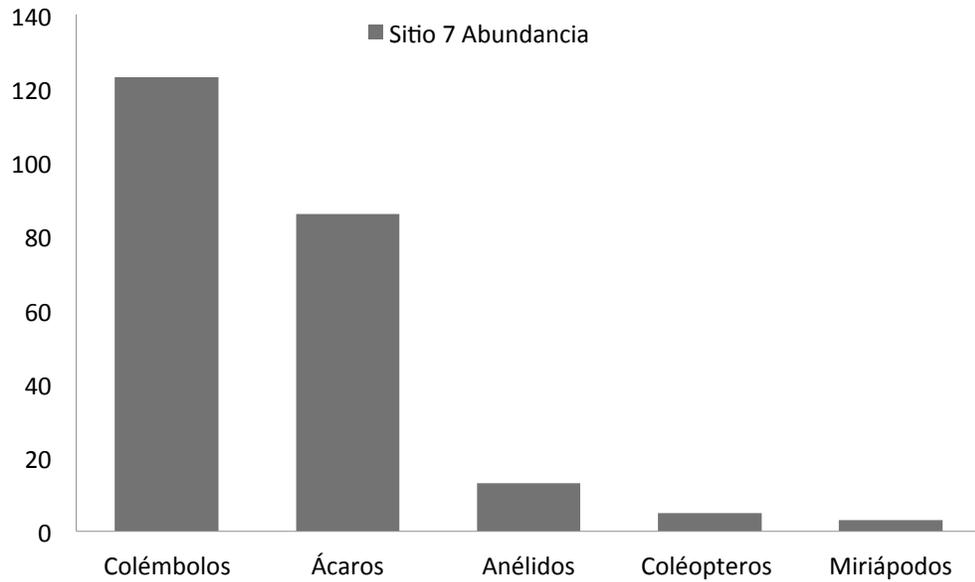


Figura 12. Número de individuos totales en el sitio 7.

Se han separado por morfoespecies los organismos correspondientes a tres de los seis sitios colectados en el bosque de *Abies religiosa* en la época de secas, lo que representa un 50 % de los sitios totales para dicha temporalidad.

Macromicetos xilosaprobios

Hasta el momento se han identificado 14 especies y 18 géneros de hongos de un total de 60 morfoespecies (Tabla 3), el género más representado es *Mycena* donde hay 1 especie identificada y 18 morfoespecies distintas, los demás géneros están generalmente representados por una sola morfoespecie.

Tabla 3. Listado de especies encontradas en los troncos caídos y los tocones en el bosque de *Abies religiosa*.

Especies	Especies
1. <i>Auricularia auricula-judae</i>	31. <i>Mycena</i> sp.9
2. <i>Boletus</i> sp.	32. <i>Mycena</i> sp.10
3. <i>Calocera macrospora</i>	33. <i>Mycena</i> sp.11
4. <i>Clavulina</i> sp.	34. <i>Mycena</i> sp.12
5. <i>Collybia</i> sp.	35. <i>Mycena</i> sp.13
6. <i>Coprinus micaceus</i>	36. <i>Mycena</i> sp.14
7. <i>Cortinarius</i> sp.	37. <i>Mycena</i> sp.15
8. <i>Dacrymyces punctiformis</i>	38. <i>Mycena</i> sp.16
9. <i>Dacryopinax</i> sp.1	39. <i>Mycena</i> sp.17
10. <i>Dacryopinax</i> sp.2	40. <i>Mycena</i> sp.18
11. <i>Ditiola radicata</i>	41. <i>Peziza</i> sp.
12. <i>Entoloma</i> sp.	42. <i>Phaeoclavulina</i> sp.
13. <i>Exidia</i> sp.	43. <i>Phaeocollybia</i> sp.
14. <i>Fomitopsis pinicola</i>	44. <i>Pholiota</i> sp.
15. <i>Fomitopsis rosea</i>	45. <i>Pseudohydnum gelatinosum</i>
16. <i>Gloeophyllum sepiarium</i>	46. <i>Ramaria</i> sp.1
17. <i>Gyromitra</i> sp.	47. <i>Ramaria</i> sp.2
18. <i>Hygrophoropsis aurantiaca</i>	48. <i>Scutellinia</i> sp.
19. <i>Inocybe geophylla</i>	49. <i>Telephora palmata</i>
20. <i>Lentinellus</i> sp.	50. <i>Trametes</i> sp.

21. <i>Lycoperdon</i> sp.	51. <i>Trichaptum abietinum</i>
22. <i>Mycena pura</i>	52. <i>Xeromphalina</i> sp.
23. <i>Mycena</i> sp.1	53. Morfoespecie 1
24. <i>Mycena</i> sp.2	54. Morfoespecie 2
25. <i>Mycena</i> sp.3	55. Morfoespecie 3
26. <i>Mycena</i> sp.4	56. Morfoespecie 4
27. <i>Mycena</i> sp.5	57. Morfoespecie 5
28. <i>Mycena</i> sp.6	58. Morfoespecie 6
29. <i>Mycena</i> sp.7	59. Morfoespecie 7
30. <i>Mycena</i> sp.8	60. Morfoespecie 8

En cuanto a los troncos, éstos fueron divididos en siete categorías de volumen para comparar este parámetro con la abundancia, riqueza y diversidad de hongos, así como con la humedad de la madera.

Es notable la distribución geométrica que se presenta en cuanto a la abundancia de esporotas (Figura 13), ya que la mayor cantidad de esporomas se agrupan en los troncos de menor volumen y mientras aumenta el volumen la cantidad de esporomas va reduciéndose drásticamente.

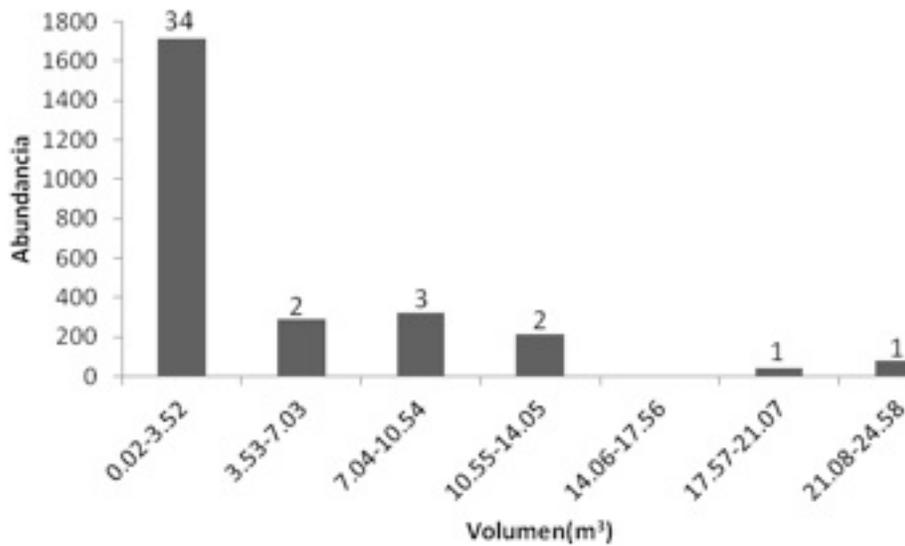


Figura 13. Abundancia de esporomas en diferentes volúmenes de troncos.

Indicadores de procesos ecosistémicos

Se consultaron un total de 195 referencias bibliográficas para la elaboración de las siguientes tablas de resultados.

Índices obtenidos a partir del método descrito para la *PPNA*.

Índices	<i>Pinus</i>	<i>Abies</i>	<i>Quercus</i>
Internacional	Promedio: 1.05	2.7	1.6
	Máxima: 0.39	1.007	0.67
	Mínima: 8.16	27.6	7.15
Nacional	-	2.18	-

		2.08	
		2.3	

Los resultados que se obtuvieron a partir de los indicadores suponen que la PPNA en el bosque de Oyamel (*Abies*) de la CRM posee valores similares a la media máxima de PPNA reportada a nivel mundial, en este caso, la media internacional máxima para PPNA fue registrada en Japón. Por otra parte, el bosque de *Abies* en la CRM presenta una media de PPNA muy superior a la media mínima internacional de PPNA reportada en Siberia para este tipo de bosque, esto podría ser explicado por el tipo de condiciones medio ambientales extremas del sitio. El bosque de *Pinus* fue el que tuvo los valores más bajos de PPNA a comparación con los otros dos bosques (*Abies* y *Quercus*); aunque los valores de PPNA de la CRM sean mucho más altos que la media mínima internacional reportada en Siberia, el valor de la media de PPNA del bosque de *Pinus* para la CRM no llega a la mitad de la media máxima internacional reportada en Turquía. La PPNA del bosque de *Pinus* tampoco alcanza el valor de la media internacional de referencias.

Índices obtenidos a partir del método descrito para la *Caída de hojarasca anual*.

Índices	<i>Pinus</i>	<i>Abies</i>	<i>Quercus</i>
Internacional	Referencias: 0.51	1.67	1.09
	Máxima: 0.13	0.82	0.57
	Mínima: 2.29	6.3	5.27
Latitudinal	0.73	1.19	0.87
	0.38	0.82	0.57
	2.21	2.59	5.27
Nacional	0.83	0.85	0.83
	0.42	0.82	0.57
	2.21	0.87	1.94

Los resultados obtenidos indicaron que el bosque de *Abies* de la CRM es el que tiene una mayor producción de hojarasca a comparación con los otros dos tipos de bosque de pino y encino que hay en la CRM; a nivel internacional y latitudinal, el índice generado para el bosque de *Abies* rebasa la unidad, lo cual indicó que este tipo de bosque tiene un promedio de producción de hojarasca mayor a la reportada a nivel mundial y latitudinal, el índice también indicó que el bosque de *Abies* rebasa el promedio mínimo internacional y latitudinal, sin embargo, el índice no rebasó la unidad en los valores promedio máximos

internacional, latitudinal o nacional. A nivel nacional el bosque de *Abies* de la CRMC posee una producción de hojarasca menor a la reportada en otras localidades de *Abies* en México.

En el caso del bosque de encino, el índice solamente es similar a la unidad a nivel internacional, pero no alcanza a rebasar el máximo de producción de hojarasca internacional reportado por Williams & Tolome (1996) en México. A nivel latitudinal y nacional, el índice indica que la producción de hojarasca del bosque de encino de la CRM no alcanza los valores promedio latitudinales y nacionales, internacionales y máximos reportados.

El índice indica que el bosque de pino de la CRM posee una producción de hojarasca promedio menor a la reportada a nivel internacional, latitudinal y nacional; el índice nunca rebasa la unidad en los valores máximos promedio de producción de hojarasca en ninguna de las tres comparaciones (internacional, latitudinal y nacional), incluso nunca rebasa la mitad en ninguno de los tres casos. El bosque de pino de la CRM posee una producción de hojarasca menor a la reportada en otros bosques de pino que se encuentran dentro de la república mexicana.

Índices para la *relación C/N del suelo* obtenidos a partir del método descrito para los tres tipos de bosque.

Índices	<i>Pinus</i>	<i>Abies</i>	<i>Quercus</i>
Internacional	Referencias: 0.88	1.09	1.04
	Máxima: 0.55	0.51	0.67
	Mínima: 1.76	4.97	2.29
Latitudinal	0.94		
	0.55	-	-
	1.76		
Nacional	0.86	1.09	
	0.55	0.69	-
	1.76	1.9	

Los índices indican que los tres tipos de bosque tienen una relación C:N del suelo similar a las reportadas a nivel internacional, latitudinal (en el caso de *Pinus*) y nacional (en el caso de *Abies*). Ningún tipo de bosque de la CRM rebasa la unidad cuando se compara con la media máxima reportada en ningún nivel de comparación (internacional, latitudinal y nacional). El bosque de pino de la CRM es el más diferente en cualquier nivel de comparación y entre los bosques de la CRM con respecto a esta variable.

Literatura citada

- Ávila Akerberg VD. (2002) La Vegetación de la Cuenca Alta del Río Magdalena: Un enfoque florístico, fitosociológico y estructural. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias. U.N.A.M.
- González Espinosa M, Quintana Ascencio PF, Ramírez Marcial N. & Gaytán Guzmán P. (1991) Secondary succession in disturbed *Pinus-Quercus* forest in the highlands of Chiapas, Mexico. *Journal of Vegetation Science*. 2: 351-360.
- Ikkonen, E., E. Ángeles-Cervantes & N. García-Calderón. 2004. Producción de CO₂ en andosoles afectados por incendios forestales en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo. *Terra Latinoamericana* 22 (4): 425–431.
- Isermeyer, H. 1952. Eine Einfache Methode sur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. *Z. Pflanzanernah Bodenk* 56: 26–38.
- Lou, Y. & Zhou, X. 2006. Soil Respiration and the Environment. Elsevier.
- Nava López MZ. 2003. Los bosques de la cuenca alta del río Magdalena, D. F., México. Un estudio de vegetación y fitodiversidad. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias. U.N.A.M.
- Santibáñez Andrade G. 2009. Composición y estructura del bosque de *Abies religiosa* en función de la heterogeneidad ambiental y determinación de su grado de conservación del Río Magdalena, México, D. F. Tesis de maestría en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias, U.N.A.M.
- Shaheen H, Ullah Z, Mulk S. & Harper D. 2012. Species composition and community structure of western Himalayan moist temperate forests in Kashmir. *Forest Ecology and Management* 278: 138-145.

3. Análisis de la comunidad acuática

3a) Monitoreo participativo en la cuenca del río Magdalena, D. F.

Alya Ramos y Lucía Almeida

Conformación de los grupos de monitores locales

Para monitorear la calidad ecológica del río Magdalena, se conformó un grupo principalmente de comuneros y comerciantes de la cuenca.

Para el monitoreo de la reforestación el grupo seleccionado fue la patrulla del Bosque que depende de la Dirección de Medio Ambiente de la Delegación la Magdalena Contreras y está conformado por actores locales que incluye tanto a comuneros como a habitantes de la delegación.

Selección de los sitios

Para la calidad ecológica del río se seleccionaron tres sitios de monitoreo permanente, con base en los impulsores de cambio, los cuales fueron identificados por el grupo de monitores durante un recorrido participativo.

Para el caso de la reforestación, se seleccionaron dos parcelas a monitorear en un área deforestada que se encuentra cerca del camino principal con base en la opinión de expertos y la experiencia de los monitores locales.

Selección de los parámetros y las variables a monitorear

Para el monitoreo de la calidad ecológica del río se seleccionaron los siguientes parámetros:

- Físicoquímicos: pH, dureza, alcalinidad, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez (Laboratorio portátil LaMote®).
- Bacteriológicos: Coliformes totales y *Escherichia coli* (Colysan Easy Gel®).
- Calidad de la zona de ribera: Ocho aspectos de la vegetación de la ribera y de la naturalidad del canal del río.
- Calidad biológica a través de los macroinvertebrados.

Para el caso del monitoreo de la reforestación se seleccionaron las variables siguientes:

- Datos de crecimiento: altura y diámetro basal.
- Supervivencia.
- Salud de la planta.

Resultados preliminares

- Hasta el momento se tienen mediciones de manera continua y sistematizada de las variables establecidas.
- Calidad ecológica del río: datos mensuales a partir de junio de 2013.
- Reforestación: datos mensuales a partir de agosto de 2013.
- Para ambos casos se tienen registros de la participación y las reflexiones de los monitores locales.

3b) Análisis de las macroalgas de la cuenca del río Magdalena para la búsqueda del valor indicador ecológico.

Rogelio Rodríguez Flores y Javier Carmona Jiménez

El río La Magdalena se origina en la Sierra de las Cruces, al surponiente del Distrito Federal, con los manantiales y escurrimientos de los cerros La Palma, El Gavilán y El Muñeco, donde predominan fuertes pendientes. El caudal aumenta conforme recibe diversos escurrimientos hasta llegar al cuarto dínamo, en donde es regulada por pequeñas presas. A partir del segundo dínamo, es visible la contaminación proveniente de actividades turísticas. El río recibe la aportación del río Eslava antes de llegar a la presa Anzaldo.



Río Magdalena, D. F.

Trabajo de campo

Se realizaron 2 recolectas (Tabla 1), durante el periodo comprendido entre marzo de 2012 y agosto de 2013. La caracterización ambiental se obtuvo a través del registro de los siguientes parámetros fisicoquímicos del agua: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), iones de Hidrógeno (pH), sólidos disueltos totales (SDT mg l^{-1}) y conductividad específica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) con un medidor de conductividad marca Hanna©; el porcentaje de saturación de oxígeno, oxígeno disuelto (mg l^{-1}) y salinidad (ppm), utilizando una sonda multiparamétrica marca Hach©.

Tabla 1. Ubicación de los sitios de estudio en la cuenca del río Magdalena.

Microcuenca	Sitios	Latitud Norte (grados, minutos, segundos)	Longitud Oeste (grados, minutos, segundos)	Altitud (m.s.n.m)	Fecha
La Magdalena	Chautitle alto	19°15'10''	99°18'57''	3357	09/02/2013
	Chautitle cañada	19°15'15''	99°18'34''	3350	09/02/2013

A largo de un transecto lineal dentro del río y cada dos metros, se recolectaron algas bentónicas de crecimiento visible, las cuales fueron depositadas en frascos de plástico. Las muestras de los crecimientos se preservaron en frío (4°C) hasta que éstas pudieran ser revisadas en el laboratorio. Posteriormente, se preservaron en formalina (concentración al 4%).

Las algas se observaron en microscopio óptico Olympus© modelo BX51 y estereoscópico Olympus© modelo SZX7, ambos equipados con sistema de fotográfico Olympus© modelo Evolt-E-330. La determinación de las especies se realizó con base en la siguiente literatura: para Cyanoprokaryota, Anagnostidis & Kómarek (2005), Broady & Ingerfield (1991), Wehr & Sheath (2003); para Chlorophyta, Prescott *et al.* (1975), Novelo (1998), Ramírez & Carmona (2005), Ramírez & Cantoral (2003), Santoyo (2012) y Wehr & Sheath (2003); para Rhodophyta Carmona & Beltrán (2007), Carmona, *et al.* (2011) y Kumano (2002); para Xantophyta, Novelo (1998). Las longitudes celulares y de los talos se midieron utilizando el programa SigmaScanPro 5.0©.

Tabla 2. Riqueza y forma de crecimiento de las algas macroscópicas bentónicas en el río Magdalena.

Microcuenca	La Magdalena
Especie	
Cyanoprokaryota	
<i>Nostoc</i> sp1 Vaucher ex Bornet & Flahault (cg)	*
<i>Nostoc</i> sp2 Vaucher ex Bornet & Flahault (cg)	*
<i>Placoma regulare</i> P.A. Broady & M. Ingerfeld (cg)	*
Chlorophyta	
<i>Prasiola mexicana</i> J. Agardh (l)	*
<i>Ulothrix</i> sp. Kützing (f)	*
Heterokontophyta (Xantophyceae)	
<i>Vaucheria bursata</i> (O.F. Müller) (f)	*
Especies totales	6
Forma de crecimiento cg (colonia gelatinosa), f (filamento), l (laminar).	

Tabla 3. Características físicas del río Magdalena.

Microcuenca	SDT mgL ⁻¹	OD mgL ⁻¹	T °C	pH	k 25 µS cm ⁻¹	salinidad %	Q ₃ m ³ s ⁻¹	PAR µM fotón m ² s ⁻¹	VC ms ⁻¹
Río Magdalena	47.5	8.9	5.5	6.85	64	0	0.18	2000.3	0.18

SDT: Sólidos Disueltos Totales, OD: Oxígeno disuelto, T: temperatura, pH: concentración iónica, k 25 µS: Conductividad específica, Q₃: aforo, PAR: Luz fotosintéticamente activa, VC: Velocidad de Corriente.

Tabla 4. Características químicas del río Magdalena.

Microcuenca	Alcalinidad mgL ⁻¹	FRS mgL ⁻¹	Sulfatos mgL ⁻¹	Nitritos mgL ⁻¹	Nitratos mgL ⁻¹	Amonio mgL ⁻¹	NID mgL ⁻¹
Río Magdalena	20.45	0.041	5.25	0.003	0.033	0.07	0.108

Rangos de eutrofización de NID: Oligotrófico ≤ 0.7 mgL⁻¹; mesotrófico 0.7-1.50 mgL⁻¹; eutrófico ≥ 1.5 mgL⁻¹. Rangos de eutrofización de FRS: Oligotrófico ≤ 0.025 mgL⁻¹; mesotrófico 0.025-0.075 mgL⁻¹; eutrófico ≥ 0.075 mgL⁻¹. (Doods *et.al.* 1998; Doods, 2003).

Tabla 5. Características bacteriológicas y de calidad hidrogeomorfológica de los sitios estudiados en la Cuenca de México.

Microcuenca	CF	CERA-S
Río Magdalena	120	30

Límites permisibles de acuerdo a la concentración de coliformes fecales (CF) NOM-089-ECOL-1994: para contacto humano ≤ 1000 NMP/100 ml; uso para cultivo 1000-99,999 NMP/100 ml; aguas residuales $\geq 100,000$ NMP/100 ml (DOF, 1989). Índice de Calidad Ambiental de Ríos Andinos (CERA): mala ≤ 20 ; regular entre 21 y 28; buena entre 29 y 35; excelente ≥ 36 (Acosta, *et al.* 2009).

Fotomicrografías de las algas cianofitas del río Magdalena.



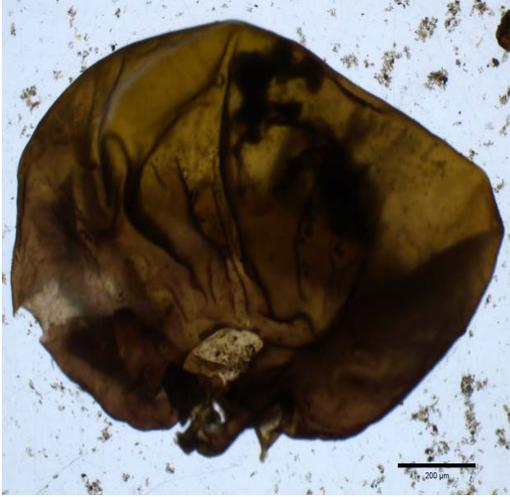
1

2

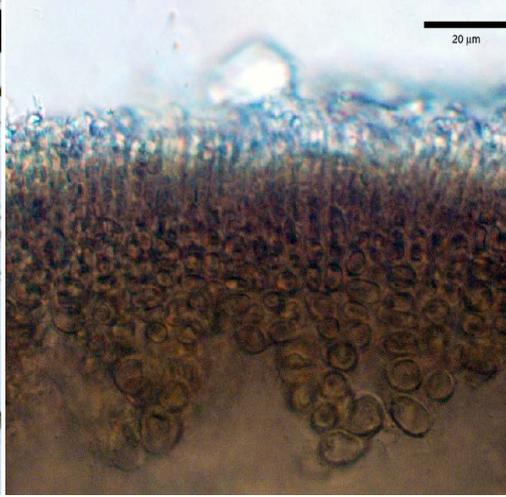


3

4



5



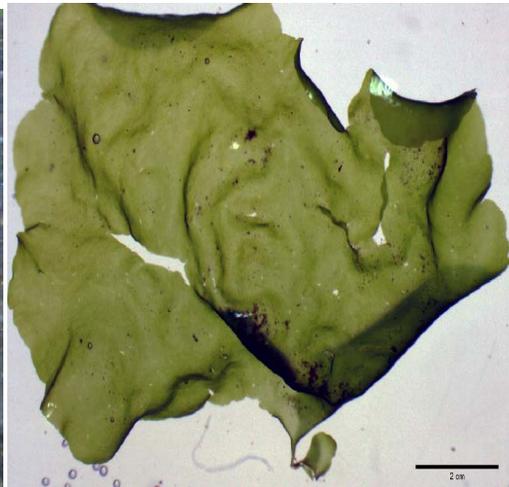
6

Pie de fotos: 1 y 2) *Nostoc* sp1; 3 y 4) *Nostoc* sp2; 5 y 6) *Placoma regularare*.

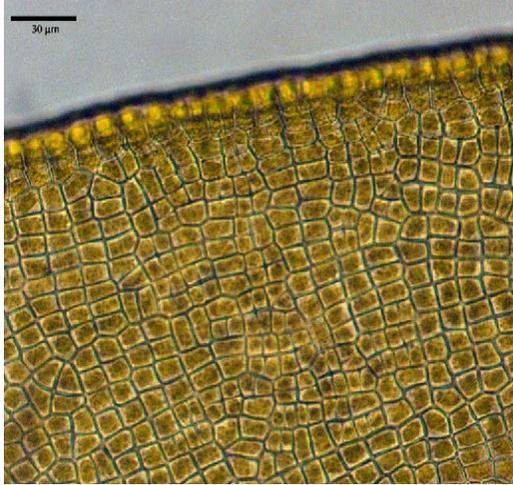
Fotomicrografías de las algas clorofitas del río Magdalena.



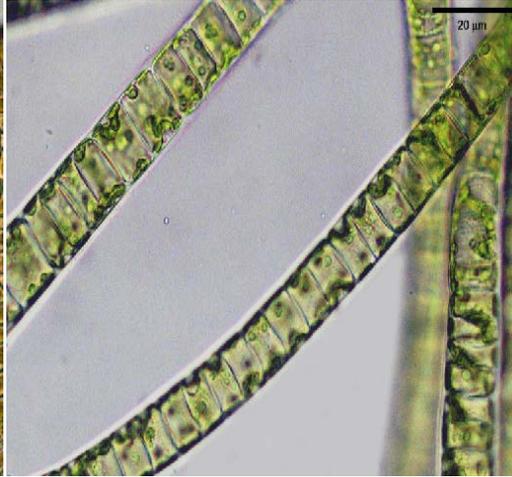
1



2



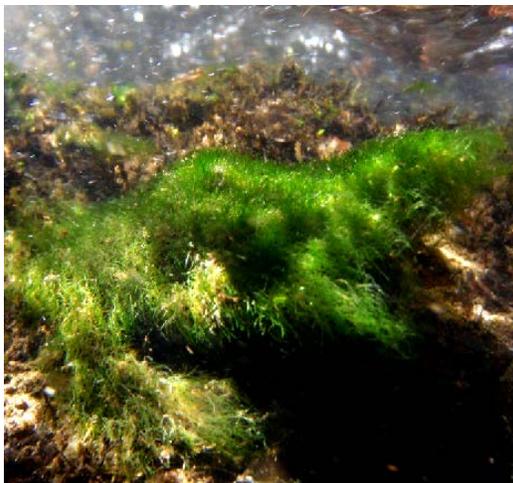
3



4

Pie de fotos: 1, 2 y 3) *Prasiola mexicana*; 4) *Ulothrix* sp.

Fotomicrografías de las algas heterocontofitas del río Magdalena.



1



2



3

Pie de fotos: 1, 2 y 3) *Vaucheria bursata*.

El resultado del test de permutación, mostró una relación significativa ($p \leq 0.05$) con el agua de menor temperatura y menor concentración de nutrientes en La Magdalena; y donde *Vaucheria bursata*, presento la mayor afinidad por estas condiciones.

Las poblaciones que mostraron preferencia por causes cuya velocidad de corriente fuera de moderada a elevada ($>0.4 \text{ ms}^{-1}$), fueron las de *Prasiola mexicana*, por encima de los 0.5 ms^{-1} promedio. La mayoría de las especies de Chlorophyta mostraron preferencia por espacios con moderada a alta exposición lumínica. Algunas otras especies como *Vaucheria bursata*, *Nostoc* spp. y *Placoma regulare* presentaron tolerancias a ambientes tanto iluminados como sombríos.

En relación al sustrato, las algas mostraron preferencia sobre bloques, sustratos rocosos menores y cantos rodados y estuvieron relacionados con las poblaciones de *Nostoc* sp1, *Nostoc* sp2, *Placoma regulare*, *Prasiola mexicana*, *Ulothrix* sp. y *Vaucheria bursata*. El tipo de sustrato más frecuente fue musgo acuático y se relacionó frecuentemente con *Vaucheria bursata* y *Ulothrix* sp.

Distribución

La relativa semejanza de la flora algal puede estar relacionada con las características ecológicas del río. En especial, las cabeceras y tramos del río de orden menor se ubicaron en elevada altitud y poca evidencia de actividades humanas. La composición de especies se caracterizó por la frecuencia y amplia distribución de *Placoma regulare*, *Nostoc* sp1, *Prasiola mexicana*, *Ulothrix* sp. y *Vaucheria bursata*.

Discusión

Riqueza

La cuenca del río Magdalena presenta una riqueza de algas macroscópicas con una dominancia de las cianoprocarioras y clorofitas, presenta proporciones similares con lo reportado en otros estudios para ríos templados de Norte América (Sheath & Cole 1992). Las especies más dominantes por su frecuencia y abundancia dentro de la cuenca fueron *Nostoc* sp1, *Placoma regulare*, *Prasiola mexicana*, *Ulothrix* sp. y *Vaucheria bursata*, muy comunes en ríos de altura de la Franja Volcánica Transmexicana (Ramírez *et al.*, 2001; Bojorge, 2002; Ramírez, 2002; Ramírez & Cantoral, 2003; Bojorge *et al.*, 2010; Carmona *et al.*, 2011), regiones templadas de América (Sheath & Cole 1992; Sheath & Vis, 2013).

Las poblaciones de *Ulothrix* sp. sólo presenta talos vegetativos. Esta característica es muy frecuente entre las Chlorophyta de ríos (Sheath & Cole 1992) y al parecer la multiplicación vegetativa, es una estrategia relacionada con el estrés provocado por el flujo de agua (Sheath & Cole 1992), así como la influencia que tienen la temperatura y la luz sobre las distintas fases de desarrollo (Krebs, 2001; Peña *et al.* 2005).

Las poblaciones de *Nostoc* sp1 y sp2 presentan diferencias muy marcadas por la forma de crecimiento de sus colonias (globosas, compactas, laxas o en forma de oreja y con una larva de quironómido en su interior, así como la posición y abundancia de los heterocitos, razón por la que fueron consideradas como morfoespecies distintas (Novelo, 1998; Sabater & Muñoz, 2000). No se puede tener certeza de la especie observada si sólo se consideran aspectos morfológicos, por lo que es necesario incorporar otras herramientas de tipo molecular, el ciclo de vida y la ecología, y así lograr caracterizar la variabilidad biológica y fenotípica de estas poblaciones. Las formas de crecimiento más comunes fueron las filamentosas, laminares y colonias mucilaginosas, muchas de éstas de hábito epilítico.

Estos niveles de organización y hábitos permiten encontrar una relación estrecha con el desarrollo de estructuras de fijación y el hábito, lo que evolutivamente les ha permitido adaptarse, funcionar y crecer sobre un continuo y elevado flujo de agua (Ramírez *et al.*, 2001; León-Tejera *et al.*, 2003) las cuales son características ambientales típicas de los ríos de montaña presentes en la cuenca.

Ecología

Las especies de la Cuenca del río Magdalena presentan la mayor abundancia en la época de secas frías y en los sitios de altitud mayor, por encima de los 3,100 ms.n.m, lo que sugiere una afinidad por sitios con temperatura del agua menor a los 17°C. Esta relación ha sido descrita por Carmona & Vilaclara (2007), Ramírez *et al.* (2001) y Bojorge *et al.* (2010). Con base en el nivel trófico del agua se reconoció un grupo de especies frecuentes en las localidades. Con agua oligotrófica ($\text{NID} \leq 0.7 \text{ mgL}^{-1}$; $\text{FRS} \leq 0.025 \text{ mgL}^{-1}$) y las poblaciones de *Ulothrix* sp. y *Vaucheria bursata* (Ramírez, 2002). La presencia de

actividades agropecuarias (cultivo de maíz, ganado vacuno y bovino) y la cercanía con algunos sistemas de drenaje y veredas de tránsito (con presencia de basura) parecen ser los responsables de las condiciones meso y eutróficas en los ríos, así como las altas concentraciones de coliformes fecales (mayores a los 1000 NMP/100 ml). Así también, el alto porcentaje de vegetación introducida o típica de ambientes perturbados, genera un bajo grado de conservación y un valor ponderado en 28 puntos o menos, según el índice CERA-S. Por el contrario, aquellos lugares que presentaron condiciones oligotróficas, están relacionados con sitios poco perturbados por actividades humanas (baja concentración de nutrientes y concentración de coliformes fecales (inferior a los 1000 NMP/100ml). Todo lo anterior aunado a las condiciones no perturbadas de la zona de ribera, tales como la canalización natural del río, la ausencia de sustrato artificial, escombros y basura; así como la mayor presencia de vegetación autóctona, permite que estos sitios tengan un alto grado de conservación y un valor ponderado por encima de los 36 puntos del índice de CERA-S.

Con relación a los parámetros microambientales, la velocidad de corriente, la radiación y el sustrato fueron los elementos más importantes que definieron la abundancia y los patrones de distribución de las especies. Si bien la estacionalidad de lluvias-secas no muestra una relación significativa sobre la velocidad de corriente de los ríos y la presencia de las algas, la regular a elevada velocidad de corriente puede diferenciar a dos grupos de especies típicas de agua lenta o elevada. El primer grupo con *Placoma regulare*, *Prasiola mexicana* y *Ulothrix* sp. presenta una relación con el establecimiento y la mayor abundancia en elevados flujo de agua; mientras que el segundo grupo con *Nostoc* ssp. se ubicaron en zonas de baja velocidad. La preferencia ambiental de estas especies confirma lo descrito por Ramírez (2002); Ramírez & Cantoral (2003); Ramírez & Carmona (2005);

Bojorge *et al.* (2010), Carmona (2007) y Carmona & Vilaclara (2007) en México y Sheath & Cole (1992); Broady & Ingerfield (1992) y Branco & Necchi (1996) para otras regiones del mundo.

La vegetación arbórea influyó de forma significativa sobre la intensidad de luz que penetra en el caudal, viéndose reflejada en la composición y abundancia de algas en los ríos. En los sitios donde la cobertura arbórea es reducida, la composición y abundancia está dominada por las especies de clorofitas *Prasiola mexicana* y *Ulothrix* sp. De manera contraria, los sitios donde la luminosidad era menor, se presentó y abundó la cobertura de las cianofitas que ya han sido reportadas creciendo en sitios sombreados o elevada concentración de sólidos disueltos en el agua (Martínez & Donato, 2003; Necchi *et al.*, 2003; Sheath & Cole, 1992; Carmona & Vilaclara, 2007). El sustrato también fue un factor que influyó de manera importante sobre el establecimiento de las formas mucilaginosas y laminares de *Nostoc* spp., *Placoma regulare* y *Prasiola mexicana* que crecieron, tanto en grandes bloques, como en cantos rodados. Por su parte, las formas filamentosas de *Ulothrix* sp., se establecieron sobre musgos acuáticos. Todos estos parámetros están relacionados con especies de algas que presentan fuertes estructuras de fijación, permitiéndoles establecerse en ambientes con velocidades de corriente diferenciales y sobre sustratos generalmente estables.

De igual forma, el tipo de clorofila y los pigmentos accesorios que poseen los diversos grupos algales, pueden garantizar la capacidad fotosintética de cada una bajo distintas intensidades de luz y longitud de onda según el ambiente en el que habiten (Whitton, 2012; Lee, 2008; Round, 1981).

Distribución

En los ambientes continentales mexicanos se han registrado un total de 2974 taxa (sin considerar los sinonimias) en un periodo comprendido entre 1847 y 2011 (Novelo & Tavera, 2011), y aproximadamente la mitad de éstas se distribuyen en el centro del país. En los ambientes lóticos nacionales predominan los registros de Chlorophyta con aproximadamente 450 taxa (30%), seguida de las Cyanoprokaryota con 300 taxa (20%), Heterokontophyta (incluida Xantophyceae) 40 taxa (2.6%) y Rhodophyta 30 taxa (2%).

La composición de algas macroscópicas en el río Magdalena, que es un río de montaña, es muy similar a otras floras de ambientes templados y cuyo promedio de especies por sitio ($\bar{x}=3$) fue similar a la que se reporta en otros ríos de montaña en la región central de México ($\bar{x}=5$ Ramírez *et al.*, 2001; $\bar{x}=3$ Bojorge, 2002; $\bar{x}=4$ Ramírez & Cantoral, 2003; $\bar{x}=3$ Bojorge *et al.*, 2010) y Estados Unidos ($\bar{x}= 3.8$, Sheath *et al.*, 1986; $\bar{x}=4.9$, Sheath *et al.*, 1989; $\bar{x}=2.7-3.6$, Sheath & Cole, 1992). Las especies adaptadas a los sitios con un continuo flujo de agua y baja temperatura, como *Prasiola mexicana*, presentaron la misma respuesta en varios ríos de aguas templadas en el sur de California y el centro de México (Carmona & Vilaclara, 2007; Bojorge *et al.*, 2010; Dudley & D'Antonio, 1991).

En México, las especies *Nostoc* spp., *Prasiola mexicana* y *Vaucheria bursata* ya han sido enlistadas en otros sitios que presentan condiciones ambientales semejantes a las de la cuenca del río Magdalena (Bojorge *et al.*, 2010; Carmona & Vilaclara, 2007; Ramírez & Carmona, 2005; Ramírez *et al.*, 2001; Bojorge, 2002; Ramírez, 2002; Ramírez &

Cantoral, 2003; Sheath *et al.* 1996). En particular, *Placoma regulare* cuyo primer registro nacional se remonta a la década pasada (Ramírez, 2002 y León-Tejera *et al.*, 2003), ya que anteriormente sólo se conocía su presencia en ríos de Nueva Zelanda (Broady & Ingerfel, 1991). Por otra parte, *Vaucheria* es un género que parece tener una distribución global (Brodie *et al.*, 2007; Cantoral-Uriza & Aboal, 2001; Taskin *et al.*, 2008; Higgins *et al.*, 2008; Moura, 2010; Comas-González, 2008, Bostock & Holland, 2010).

Conclusiones

- La flora de macroalgas de la Cuenca del río Magdalena está compuesta mayoritariamente por especies de algas que pertenecen al grupo de las Chlorophyta y Cyanoprokariota, y cuyos niveles de organización les permiten un óptimo establecimiento en los ambientes lóticos. Esta riqueza específica se explica también por la heterogeneidad ambiental que caracteriza a los ríos de la cuenca, particularmente en términos ecológicos y fisiográficos.
- La no determinación de algunas especies de algas nos habla del grado de complejidad morfológica y la plasticidad fenotípica que presentan en función de las interacciones con el medio biótico y abiótico en donde se desarrollan, en especial las poblaciones definidas bajo el género *Nostoc*. Asimismo, la poca evidencia de reproducción sexual en las especies de Chlorophyta, sugiere que estos organismos se propagan vegetativamente en un ambiente limitado por la velocidad de corriente.

- El estudio continuo de las floras ficológicas, aunado a la información ecológica y taxonómica de las especies que la integran, permiten enriquecer y actualizar el conocimiento ficológico del país, particularmente los de ambientes dulceacuícolas de la región central.
- La mayoría de las especies mostraron afinidades por ambientes fríos y oligotróficos, viéndose reflejada en una gran abundancia durante la temporada de secas frías y en los sitios con mayor altitud (superiores a los 3,100 m.s.n.m.), así como en sitios con las menores concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto y fósforo reactivo soluble. Sólo algunas especies, principalmente del grupo de las Cyanoprokaryota, presentaron especificidades ambientales relacionadas con la intensidad luminosa y la velocidad de corriente.
- La caracterización ambiental y biológica algal (ficológica) de la Cuenca del río Magdalena permite sustentar las bases de futuros proyectos de investigación encaminados a resolver problemas de índole taxonómico, biogeográfico y ecológico, así como proponer estrategias de conservación en los aún existentes ambientes de ribera de la cuenca ante escenarios de cambio climático y el uso racional de sus recursos naturales, principalmente el agua, elemento que presenta una gran problemática por su escasez y calidad en la región y en el país.
- La composición de algas macroscópicas de la cuenca del río Magdalena resultó semejante, lo que significa que esta región presenta una flora ficológica

característica y puede ser punto de referencia para otras cuencas con ríos de alta montaña en la región central del país y un referente ante cambios provocados por el calentamiento global.

Literatura citada

- Acosta R., Ríos-Touma B., Rieradevall M. & Prat N. 2009. Proposal for an evaluation protocol of the ecological quality of Andean rivers (CERA) and its use in two basins in Ecuador and Peru. *Limnetica* 28(1): 35-64.
- Anagnostidis & J. Kómarek. 2005. *Cyanoprokaryota. Oscillatotoriales*. Elsevier GmbH. Alemania. 759 p.
- Bojorge M.G. 2002. *Ecología de comunidades algales en una localidad del río La Magdalena, D. F.* Tesis profesional, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 46 p.
- Bojorge G.M., Carmona J.J., Beltrán Y. & Cartajena M. 2010. Temporal and spatial distribution of macroalgal communities of mountain streams in Valle de Bravo Basin, central México. *Hydrobiología* 641: 159-169.
- Bostock P.D. & Holland A.E. 2010. *Census of the Queensland Flora*. Brisbane: Queensland Herbarium Biodiversity and Ecosystem Sciences, Department of Environment and Resource Management. 1-320 p.
- Branco C. C. & Necchi O. Jr. 1996. Distribution of stream macroalgae in the Eastern Atlantic Rainforest of São Paulo State, southeastern Brazil. *Hydrobiologia* 333: 139-150.
- Broady P.A. & Ingerfeld M. 1991. *Placoma regulare* sp.nov. (*Entophysalidaceae*, Cyanobacteria) from New Zealand streams. Department of Plant and Microbial Sciences, University of Canterbury, Christchurch 1, New Zealand. *Phycologia* 30: 547-555.
- Brodie J., Maggs C.A. & John D.M. 2007. *Green seaweeds of Britain and Ireland*. London: British Phycological Society 242 p.
- Cantoral Uriza E.A. & Aboal Sanjurjo M. 2001. El marjal Pego-Oliva: evolución temporal de la flora de macroalgas. *Limnetica* 20(1): 159-171.

- Carmona J.J. 1997. *Estudio florístico (taxonómico-ecológico-biogeográfico) de las rodofitas de agua dulce en la región central de México*. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F. 201 p.
- Carmona J.J. & Beltrán M. Y. 2007. *Las algas rojas continentales en la región central de México*. Las prensas de ciencias. UNAM. México. D. F. 48 p.
- Carmona J. & Vilaclara F.G. 2007. Survey and distribution of Batrachospermaceae (Rhodophyta) in high-altitude tropical streams from central Mexico. *Cryptogamie Algologie* 28 (3): 271-282.
- Carmona J.J, Perona E., Sánchez E. & Loza V. 2011. Morphological and ecological characterization of Batrachospermales (Rhodophyta) in the Jarama Basin, Iberian peninsula. *Limnetica* 30(1): 117-128.
- Comas-González, A. (2008). Algunas características de la Flora de algas y cianoprocarioras de agua dulce de Cuba. *ALGAS. Boletín de la Sociedad Española de Ficología* 39: 21-29.
- 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: 171-181.
- Dodds, W. K., R. J. Jones & E. B. Welch, 1998. Suggested classification of stream trophic state: distribution of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen and phosphorous. *Water Research* 32: 1455-1462.
- Dudley T.M & D'Antonio C.M. 1991. The Effects of Substrate Texture, Grazing, and Disturbance on Macroalgal Establishment . *Streams. Ecology* 72: 297-309.
- Higgins S.N., Malkin S.Y., Howell E.T., Guildford S.J., Campbell L., Hiriart-Baer V. & Hecky R.E. 2008. An ecological review of *Cladophora glomerata* (Chlorophyta) in the Laurentian Great Lakes. *Journal of Phycology* 44: 839-854.
- Krebs, C.J. 2001. *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*. Benjamin-Cummings Publishing Company. 5th edition. San Francisco CA. 695 p.
- Kumano S. 2002. *Freshwater red algae of the World*. Biopress Ltd. Inglaterra. 375p.
- León-Tejera, H., G. Montejano & E. Cantoral-Uriza. 2003. Some little known Hydrococcaceae (Cyanoprokariota) from Central Mexico. *Archives für Hydrobiologie / suppl. Algological Studies* 109: 363-374.

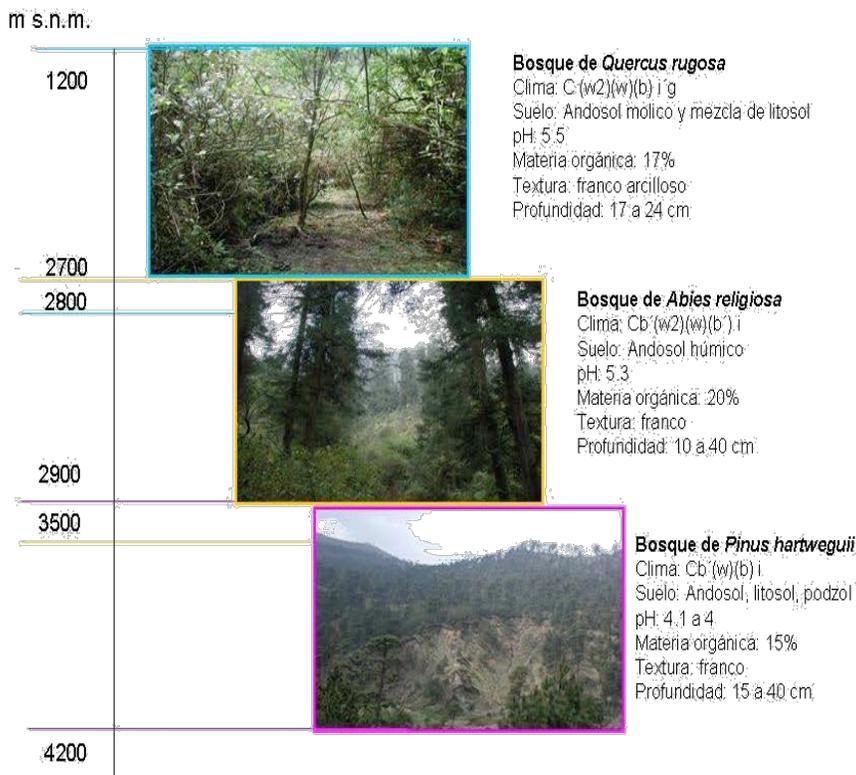
- Lee R.E. 2008. *Phycology*. 4th edición. Cambridge University Press. 547 pp.
- Martínez I. & Donato J. 2003. Efectos del caudal sobre la colonización de algas en
Diversidad de diatomeas en un río andino de alta montaña tropical. *Caldasia* 25(2):
337-354.
- Moura C.W.N. 2010. Ulvophyceae. En: *Catálogo de plantas e fungos do Brasil. Vol. 1*. Rio
de Janeiro. Andrea Jakobsson Estúdio; Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio
de Janeiro. 438-448 p.
- Necchi J.O, Branco H.Z. L & Branco Z. 2003. Ecological distribution of stream macroalgal
communities from a drainage basin in the serra da Canastra National Park. Minas
Gerais. Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 63(4): 635-646.
- Novelo E. & Tavera R. 2011. Un panorama gráfico de las algas de agua dulce de México.
Hidrobiológica 21 (3): 33-341.
- Novelo M.E, 1998. *Floras ficológicas del Valle de Tehuacán, Puebla, México*. Tesis de
doctorado. UNAM, México, D. F. 699p.
- Peña E.J. , Palacios M.L. & Ospina N. 2005. *Algas como indicadores de contaminación*.
Programa Editorial Universidad del Valle. Colombia. 164p.
- Prescott W, Croasdale T. & Vinyard C. 1975. A synopsis of North American desmids.
PartII. Desmidiaceae: Placodermae. Section 1. Lincoln, University of Nebraska
Press. 275p.
- Ramírez V.M., Beltrán Y., Bojorge M., Carmona J., Cantoral Uriza E. A. & Valdez F.
2001. Flora algal del Río La Magdalena, Distrito Federal, México. *Boletín de la
Sociedad Botánica de México*. 68: 45-67.
- Ramírez Vázquez M. 2002. *Flora algal de ambientes lóticos en la zona occidental de la
cuenca del Valle de México*. Tesis de licenciatura, Fac. de Ciencias. UNAM. México,
DF. 111p.
- Ramírez Vázquez M. & Cantoral Uriza E.A. 2003. Flora algal de ríos templados en la zona
occidental de la cuenca del Valle de México. *Anales del Inst. de Biología*.
Universidad Nacional Autónoma de México. *Serie Botánica* 74(2): 143-194.
- Ramírez, R.R & Carmona J.J. 2005. Taxonomy and distribution and distribution of
freshwater *Prasiola* (Prasiolales, Chlorophyta) in central Mexico. *Cryptogamie
Algologie* 26 (2): 177-188.

- Round, F. E 1981. *The Ecology of Algae*. Cambridge University Press. UK. 653 p.
- Sabater S. & Muñoz I. 2000. *Nostoc verrucosum* (Cyanobacteria) colonized by a chironomid larva in a mediterranean stream. *J. Phycol.* 36: 59–61.
- Santoyo A.R. 2012. *Catálogo ilustrado de algas dulceacuícolas mexicanas Volvocales y Tetrasporales*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. 379-389 p.
- Sheath, R., Morison, M. Korch, J., Kaczmarczyk, D. & Cole, K. 1986. Distribution of stream macroalgae in south-central Alaska. *Hydrobiologia* 135: 259-269.
- Sheath, R. G., P. B. Hamilton, J. A. Hambrook & K. M. Cole, 1989. Stream macroalgae of the eastern boreal forest region of North America. *Canadian Journal of Botany* 67: 3553-3562.
- Sheath R.G & Cole K.M. 1992. Biogeography of stream macroalgae in North America. *Journal of Phycology* 28: 4.
- Sheath R.G. & Vis M.L. 2013. Biogeography of freshwater algae. eLS. [En](#) Sheath, R.G. 2006. Biogeography of freshwater algae eLS.
- Taskin E., Öztürk M., Kurt O. & Öztürk M. 2008. *The check-list of the marine algae of Turkey*. Manisa, Turkey: Ecem Kirtasiye. 87 p.
- Wehr D. J. & Sheath R. G. 2003. *Freshwater algae of Northamerica*. Academic Press. E.U.A 918p.
- Whitton B.A, 2012. Ecology of cyanobacteria II. Springer. U.K. 753 p.
-

4. Mapas de vulnerabilidad en la vegetación en relación a los cambios climáticos globales

Victor Ávila-Akerberg, Burgos-Hidalgo, I., Ma. Engracia Hernández-Cerda y Lucia Almeida-Leñero.

Se presentan los principales escenarios ante el cambio climático, de los tipos de vegetación presentes en la cuenca del río Magdalena (CRM), ubicada al surponiente de la Ciudad de México. De las situaciones generales que sabemos en los temas del cambio climático a nivel global, es que se presentará un aumento de temperatura y se verán modificados los cambios en los patrones de precipitación, lo que generará diversas consecuencias para los ecosistemas. En relación a la cuenca del presente estudio, el referente más importante para su análisis es el tipo de vegetación, ese conjunto de árboles dominados por una población específica que determina el nombre del conjunto: para el caso de la cuenca, se cuenta con tres tipos vegetacionales distribuidos en relación con la altitud, estos son:



Todos ellos caracterizados por ser bosques templados característicos del eje transmexicano. Se muestran a continuación los representantes arbóreos de cada tipo.

Bosque de *Pinus hartwegii* en las zonas más altas (34% de cobertura en la cuenca)



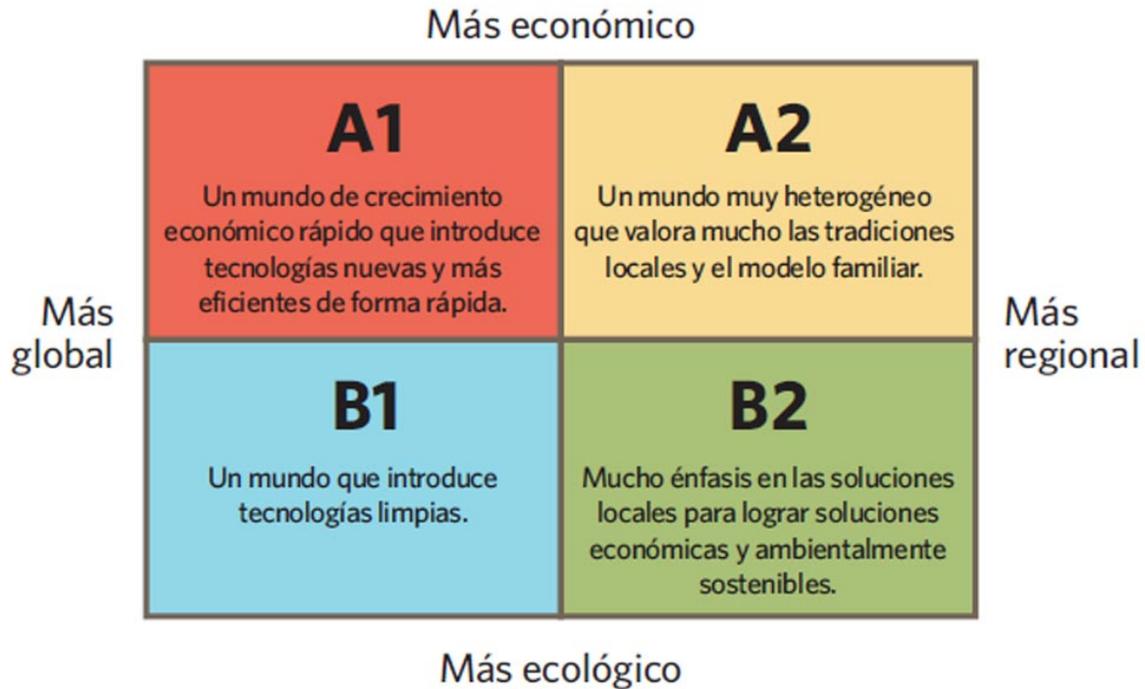
Bosque de *Abies religiosa* en la parte media de la cuenca (46% de cobertura en la cuenca)



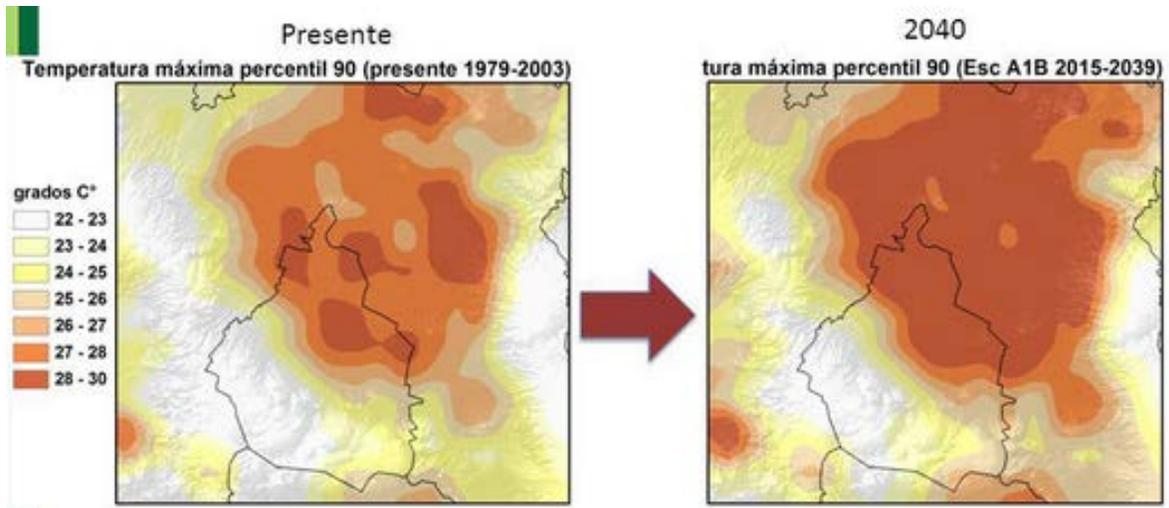
Bosque de *Quercus* spp. en partes bajas, amenazado por asentamientos humanos (4.4 % de cobertura en la cuenca)



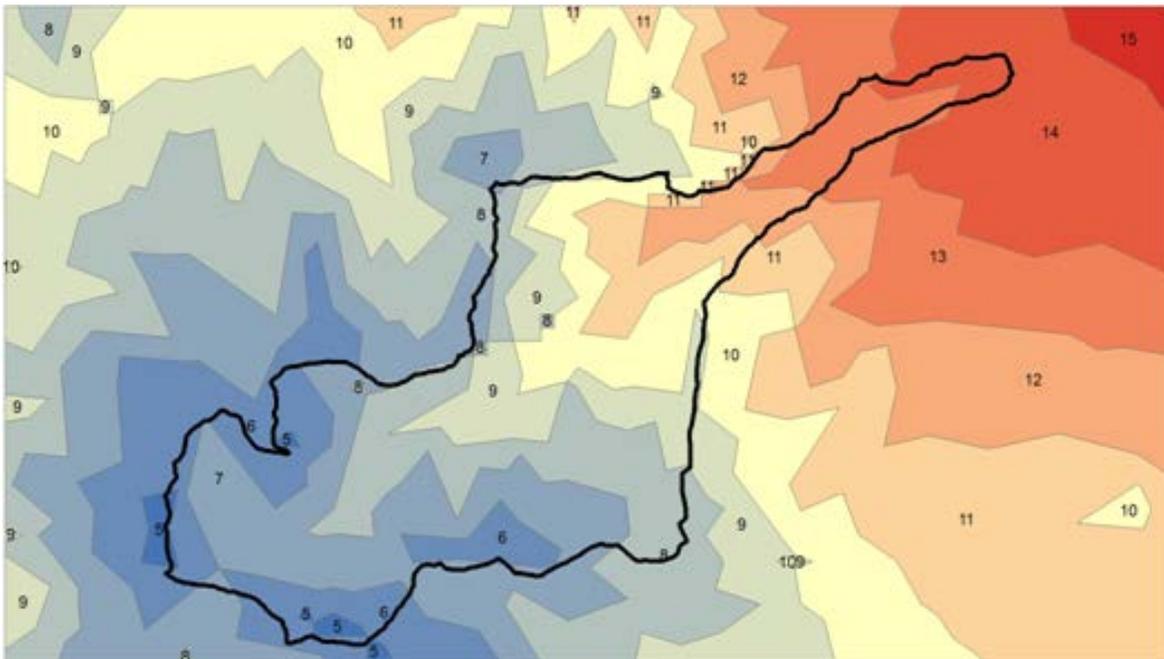
Para plantear los escenarios ante el cambio climático, se han realizado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC) 4 escenarios principales, que exploran vías de desarrollo alternativas, junto con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) resultantes, que se muestran a continuación:



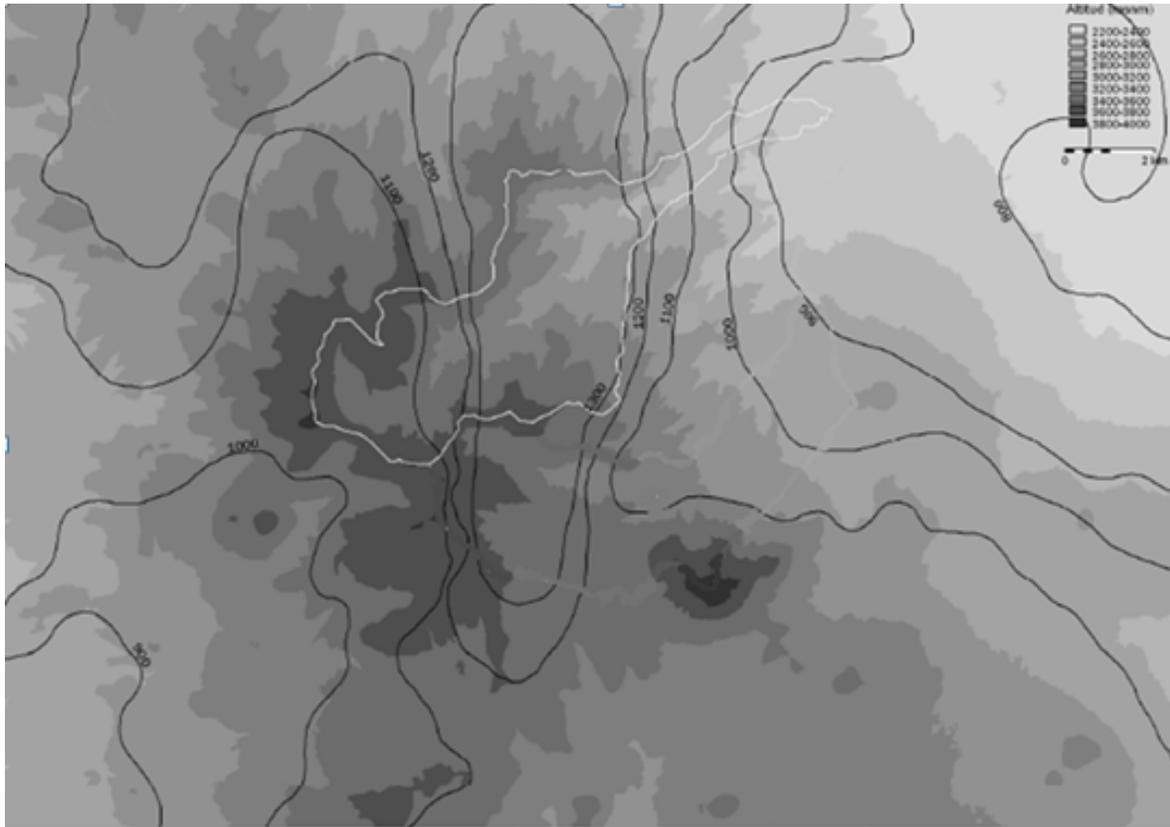
A continuación, mostramos los escenarios particulares para la cuenca del río Magdalena, con los datos climáticos obtenidos de estaciones meteorológicas cercanas y su modelación.



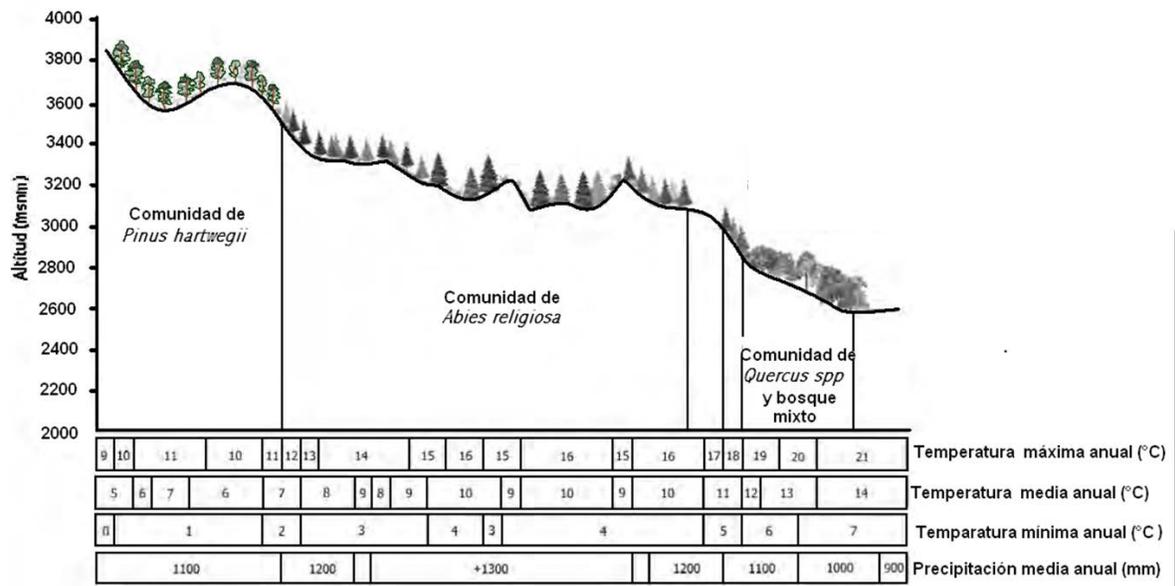
Temperaturas medias (actuales)



Precipitación (actual)

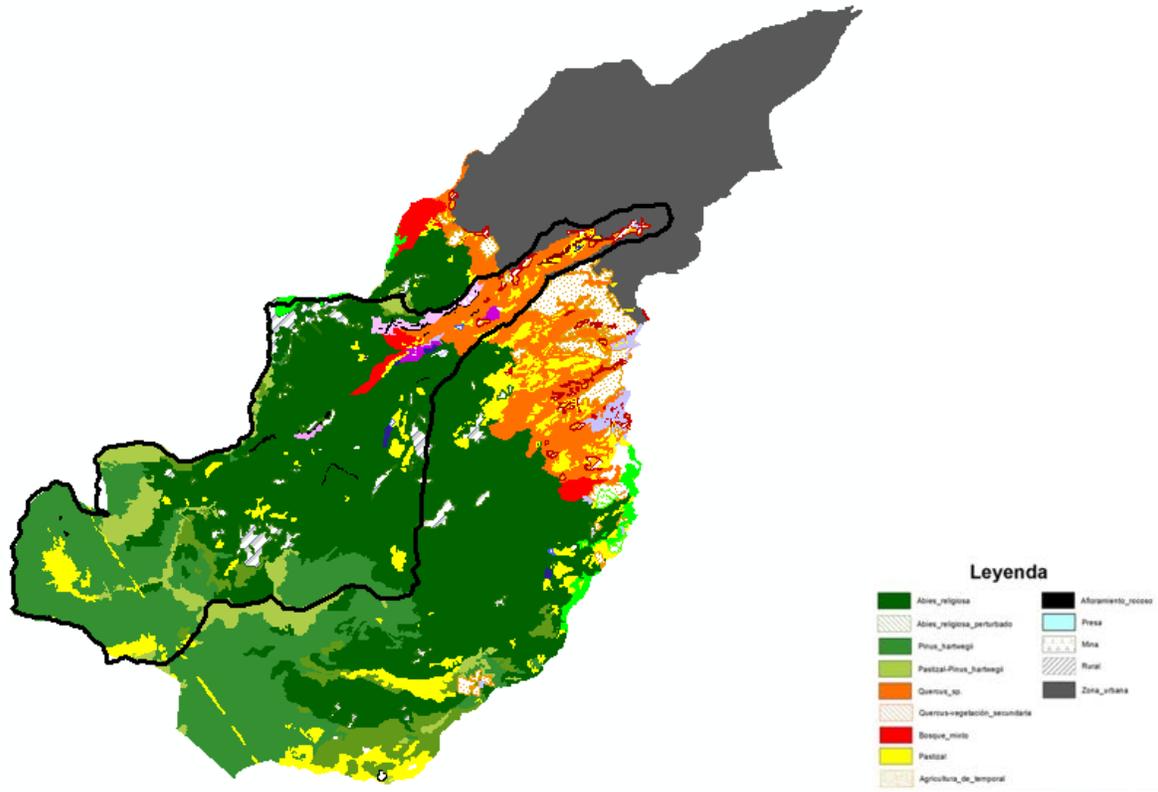


Gradiente de vegetación y su relación con la temperatura y precipitación



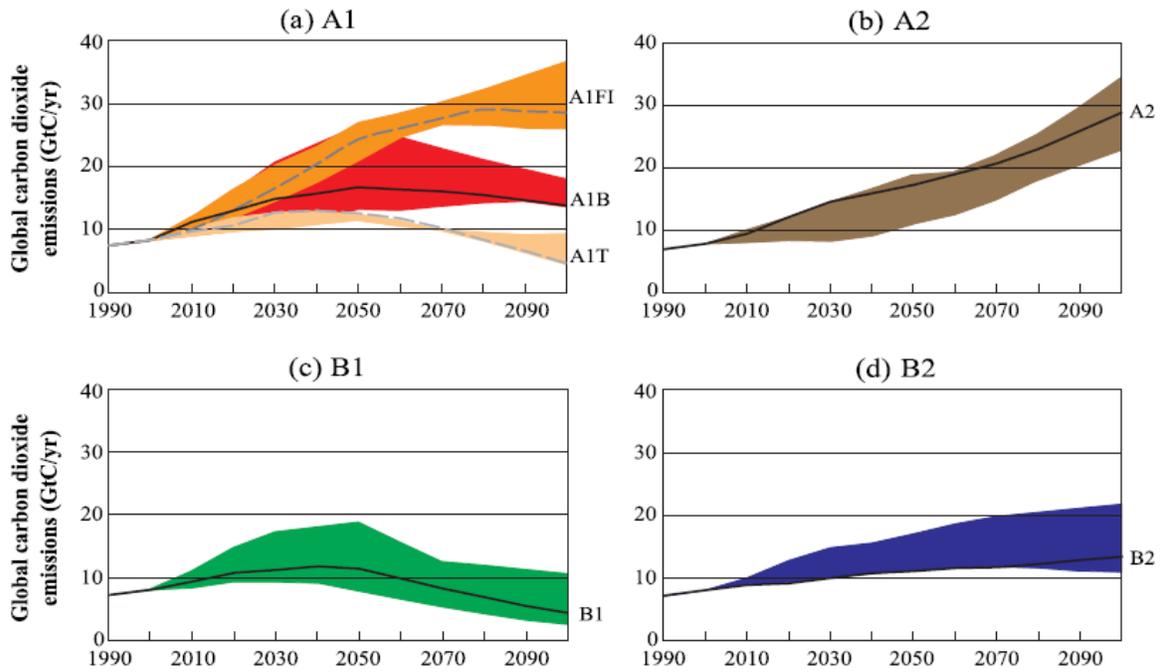
Dobler, 2010.

Distribución actual de la vegetación



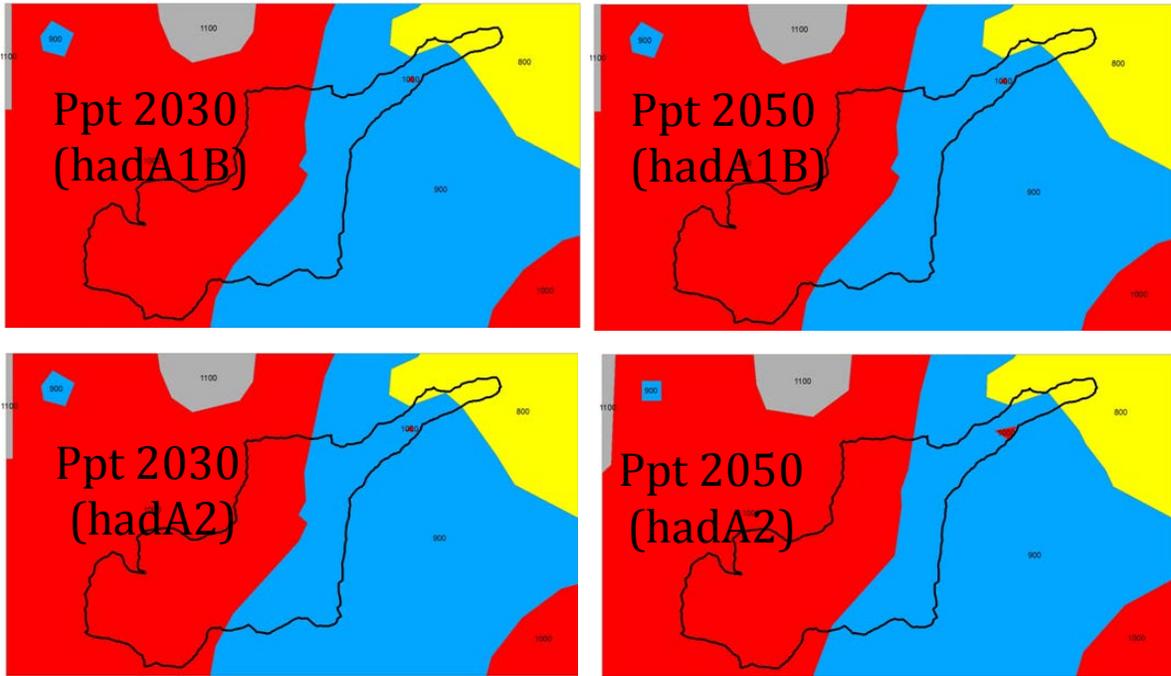
La mayor precipitación (ppt) corresponde con la distribución del bosque de *Abies religiosa* (Ávila-Akerberg, 2009).

Aplicación de los modelos de Cambio climático (CC)



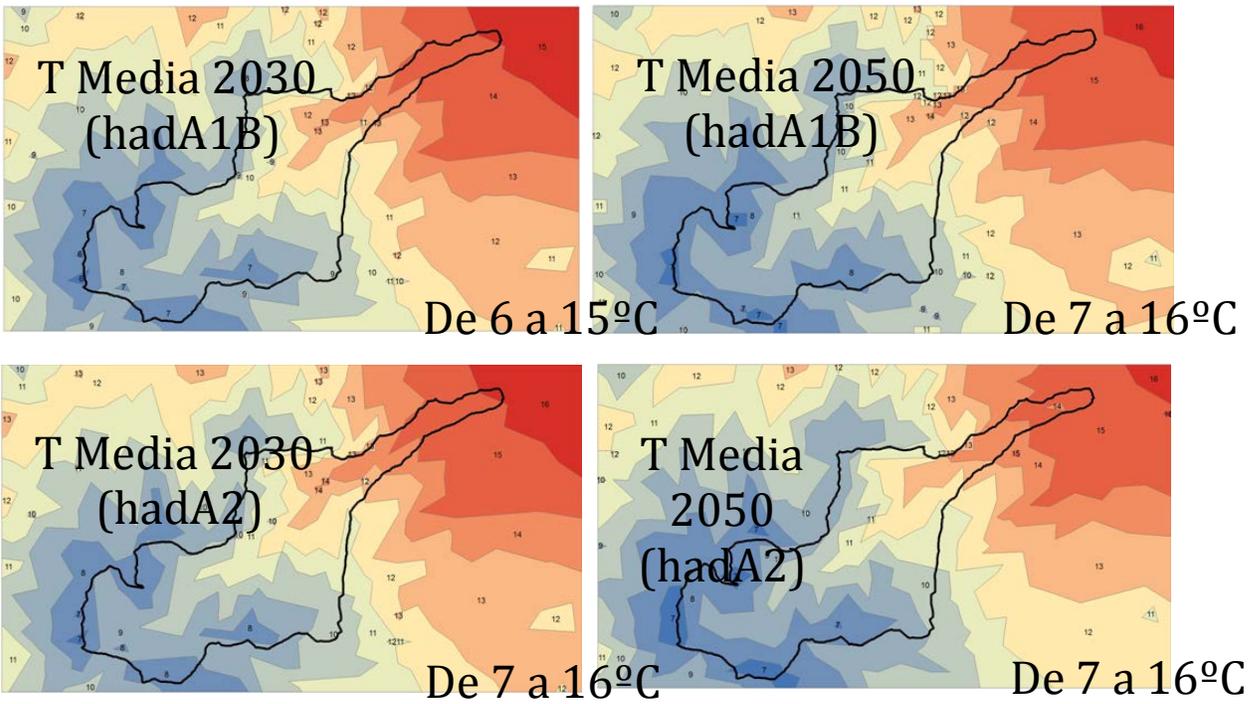
Escenarios A1B (enfoque optimista) y A2 (lo de siempre).

Cambios en patrones de precipitación por cambio climático

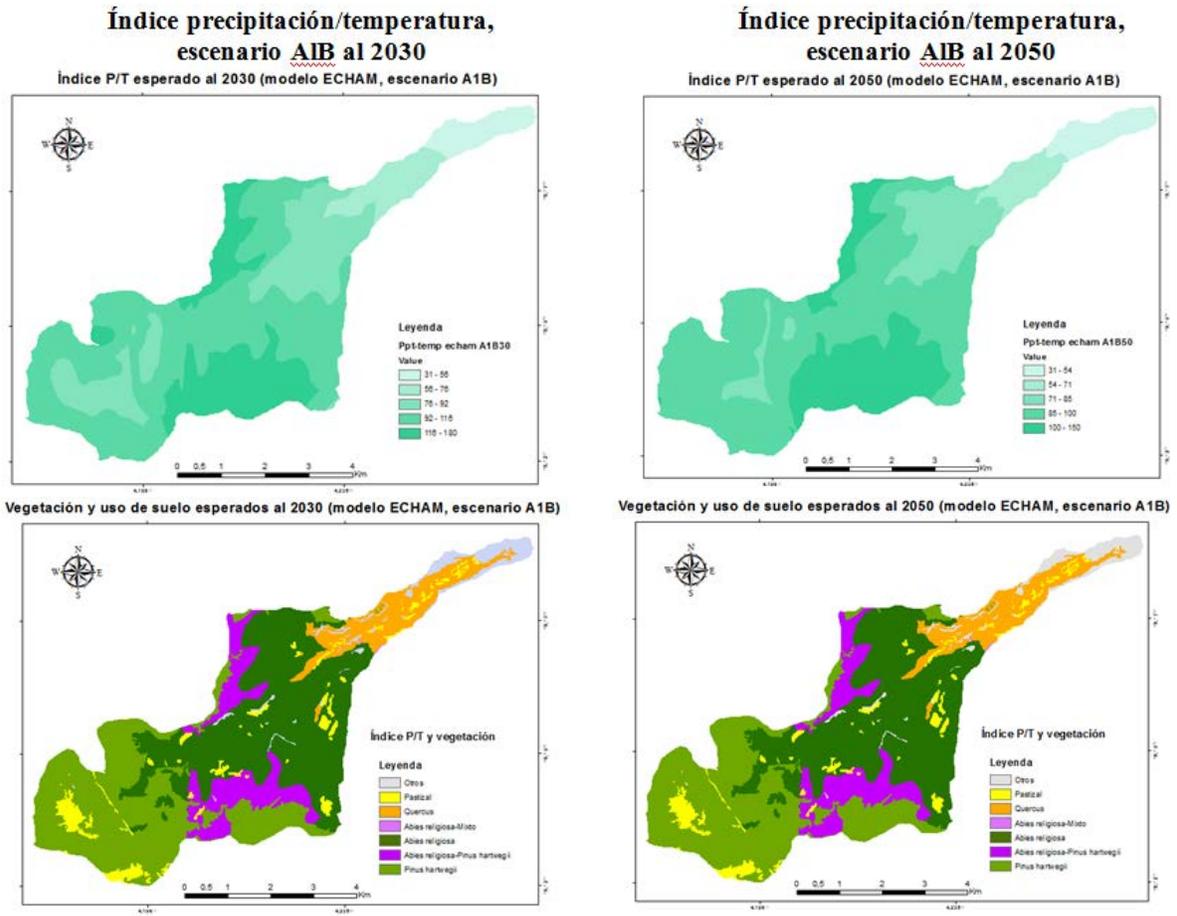


HAD: Hadley Centre for Climate Prediction and Research. Statistical Downscaling Model.

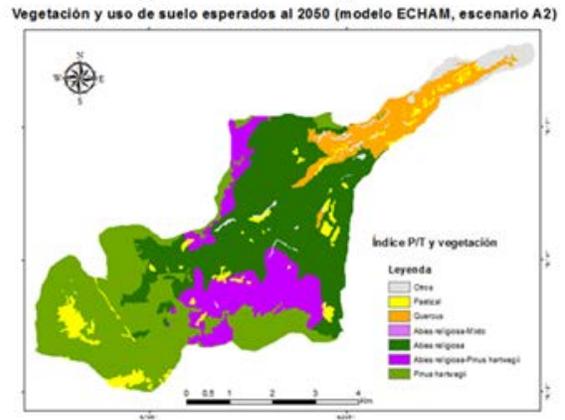
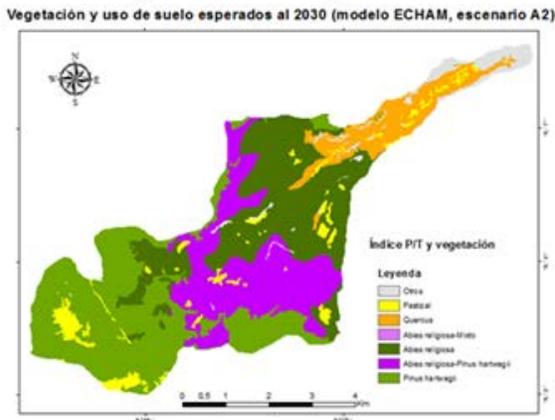
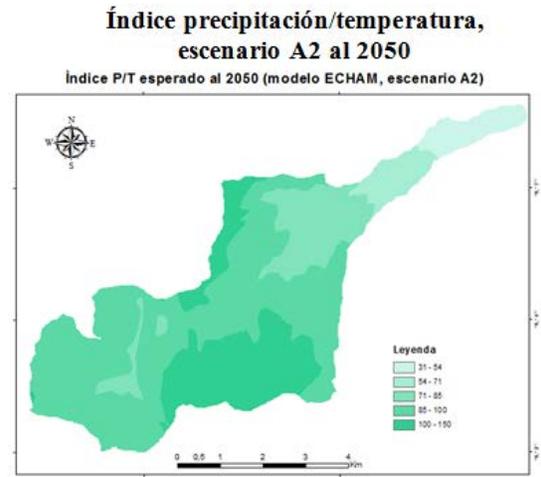
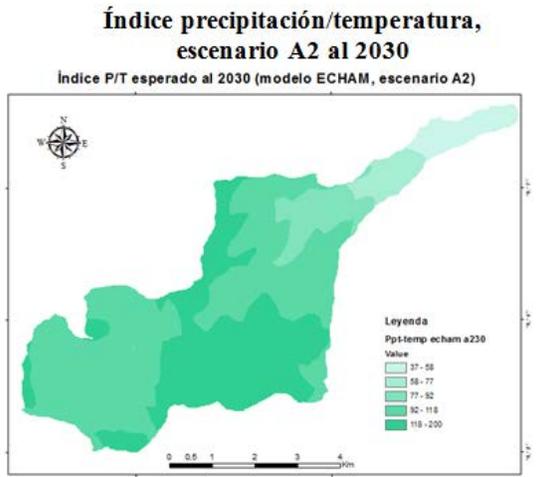
Cambios en patrones de temperatura de CC



Cambios esperados en la Cuenca del río Magdalena, bajo el escenario A1B



Cambios esperados en la Cuenca del río Magdalena, bajo el escenario A2



Distribución actual de la vegetación y la esperada bajo escenarios de CC

Tipo de vegetación y uso de suelo	Distribución altitudinal actual	Intervalo térmico actual (°C)	Intervalo de precipitación actual (mm)	Posible distribución al 2030	Posible distribución al 2050
Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>	3200-3850	9-11	1100	Aumenta hacia <i>A. religiosa</i>	
Bosque de <i>Abies religiosa</i>	2800-3500	12-16.5	1200 - >1300	Disminuye área de distribución	
Bosque mixto y de <i>Quercus</i>	2400-3000	19-21	900-1100	Aumenta hacia <i>A. religiosa</i>	
Otros bosques (e.g. <i>Alnus</i>)	2400-2800	20-22	900-1000	Aumentan distribución	
Pastizal	2500-3500	9-21	900-1300	Variable, depende más del manejo y el posible cambio de uso de suelo	
Agricultura	2500-2800	20-22	900-1000	Variable, depende más del manejo y el posible cambio de uso de suelo	
Asentamientos humanos	2400-2850	20-22	900-1000	Variable, depende más del manejo y el posible cambio de uso de suelo	

Con las proyecciones previas, ¿qué cambios se pueden esperar en la vegetación?

- El bosque de *Abies religiosa* puede disminuir su área de distribución, ya que tendría menor precipitación a 30 y 50 años.
- El bosque de *Pinus hartwegii*, alcanzando las partes más altas de la cuenca, podría extender su distribución en zonas más bajas, en ecotono con *Abies religiosa*.
- El bosque de *Quercus* spp. podría subir su distribución en altitud, tomando espacios de distribución de *Abies religiosa*.

Qué implicaciones se tendrán para el manejo

- Considerando las posibles consecuencias del CC en la CRM para orientarlo hacia la conservación de la vegetación nativa actual, pensando en la provisión actual de servicios ecosistémicos (SE) de mayor relevancia (agua).
- Estrategias de migración asistida o manejo genético de especies forestales para favorecer al bosque de *Abies religiosa*, por los cambios esperados en precipitación y temperatura.
- Sin embargo, a corto plazo, la principal causa de pérdida de cobertura forestal actual es el cambio de uso de suelo.
- Es fundamental frenar la extensión de la marcha urbana, necesario evitar corrupción e impunidad.

Y finalmente, recordar que los bosques de la CRM proveen de una serie de servicios ecosistémicos importantes para esta zona y la Ciudad de México. Cabe resaltar a los siguientes:

- Conservación de la biodiversidad: 635 especies de plantas (Ávila-Akerberg, 2009).
- Presencia de los principales tipos de vegetación templada de México.
- Plantas útiles: 209 especies (eg. medicinales, comestibles, para construcción, leña, etcétera).
- Almacén de carbono: en promedio 95 ton/ha de bosque.
- Provisión de agua: captación anual de alrededor de 20 millones de m³, contribuyendo a la recarga del acuífero de la Ciudad de México.
- Uno de los lugares más importantes para la recreación de los habitantes de la Ciudad.

Agradecimientos

A la UNAM, la Facultad de Ciencias, el Centro de Ciencias de la Atmósfera, al Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México, a la UAEM, al ICyTDF, al ICAR, al PINCC-UNAM proyecto 2012-2015.

Literatura citada

Ávila-Akerberg, V. 2009. *Forest quality in the southwest of Mexico City. Assessment towards ecological restoration of ecosystem services*. Culterra, Band 56, Institut für Landespflege, University of Freiburg, Germany.

Dobler, M. C. E. 2010. *Caracterización del clima y su relación con la distribución de la vegetación en el suroeste del D. F. México*. Tesis de licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM, México. 55 p.

5. Otros productos

Otros resultados importantes se encuentran reunidos en una obra editorial que ha recibido apoyo del presente proyecto del PINCC, concentrado en el libro con el título: *Historia natural y cultural de la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México*, compilado por Lucia Almeida Leñero, Javier Carmona Jiménez y Enrique A. Cantortal Uriza. Actualmente la reunión de la obra cuenta con un 95 % de integración. Esperamos contar con la publicación hacia finales de 2015 o bien, a principios de 2016. A continuación se presenta el contenido de dicha obra.

HISTORIA NATURAL Y CULTURAL DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, DISTRITO FEDERAL, MÉXICO

Lucia Almeida Leñero
Javier Carmona Jiménez
Enrique A. Cantortal Uriza

Coordinadores

Índice

PRÓLOGO

I. INTRODUCCIÓN

MEDIO NATURAL

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

CLIMA

María Engracia Hernández Cerda y Carlos Dobler

MEDIO SOCIAL

BREVE HISTORIA DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

Julieta Jujnovsky Orlandini y Lucia Almeida Leñero

II. BIODIVERSIDAD

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

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

LAS ALGAS DEL RÍO MAGDALENA, DF.

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 EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, DF.

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

DIVERSIDAD DE CILIADOS (ALVEOLATA: CILIOPHORA) EN EL RÍO MAGDALENA, DF.

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

LAS MARIPOSAS DIURNAS (LEPIDOPTERA: RHOPALOCERA; PAPILIONOIDEA) EN EL SUELO DE CONSERVACIÓN CONTRERENSE DE LA MAGDALENA CONTRERAS, DF.

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

ANFIBIOS Y REPTILES DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, DF.

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

AVIFAUNA DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, DF.

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

MAMÍFEROS DEL SUELO DE CONSERVACIÓN CONTRERENSE, DF.

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, DF.

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

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

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, DF.

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, DF.

Guadalupe Barajas-Guzmán, Javier Álvarez-Sánchez, Ernesto Delgadillo, Adrián Hernández, 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, DF.

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, DF.

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, DF.

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, DF.

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

Alya Ramos Ramos, Itzkuauhtli Zamora Saenz y Lucía Almeida Leñero

PLANTAS ÚTILES Y MEDICINALES DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, DF.

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

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

Faustino Octavio Ruíz Abarca y Javier Carmona Jiménez

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

Julieta Jujnovsky Orlandini y Lucía Almeida Leñero

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

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

SISTEMA DE INDICADORES PARA EL MONITOREO DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, DF.

Itzkuauhtli Zamora Saenz, Marisa Mazari Hiriart y Lucía Almeida Leñero

COMENTARIOS FINALES

Se mencionan otros productos como tesis, presentaciones en congreso y puesta en marcha de estaciones meteorológicas, que recibieron apoyo del PINCC entre otros programas, para el estudio en la cuenca del río Magdalena.

Tesis de licenciatura

Facio López, D. J. 2015. La relación carbono-nitrógeno en el mantillo y suelo del bosque de *Abies religiosa* en la cuenca del río Magdalena, D.F., México. Facultad de Ciencias. UNAM. 68 pp.

Rodríguez Flores, R. 2014. Diversidad y distribución de algas macroscópicas en ríos de alta montaña de la Cuenca de México. Facultad de Ciencias. UNAM. 94 pp.

Salinas Camarillo, V. H. 2015. Taxonomía y distribución de las diatomeas epilíticas de ríos en la Cuenca de México. Facultad de Ciencias. UNAM. 443 pp.

Tesis de licenciatura (en proceso)

Salazar García, J. C. 2015. Monitoreo participativo de la reforestación en la cuenca del río Magdalena, México, D.F. Facultad de Ciencias. UNAM.

Centeno Barba, K. E. 2015. Evaluación anual participativa de la reforestación con *Abies religiosa* entre parcelas con diferente manejo, en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal. Facultad de Ciencias. UNAM.

Arroyo Crivelli, G. 2015. Monitoreo participativo de la calidad ecológica del río Magdalena, D.F., México. Facultad de Ciencias. UNAM.

Presentación en congreso

Almeida-Leñero, L., Ávila-Akerberg, V., Burgos-Hidalgo, I., Hernández-Cerda, Ma. 2014. Distribución actual y potencial en la vegetación y uso de suelo en la Cuenca del río Magdalena, D.F. Bajo escenarios de cambio climático. V Simposio Ecología, Manejo y Conservación de los Ecosistemas de Montaña en México. Xalapa, Veracruz, del 14 al 16 de octubre.

Se encuentra en integración la información para la publicación de artículos. Algunos ya en revisión.

Estaciones meteorológicas

Con la necesidad existente y con el fin de obtener datos climáticos en el área de estudio y con el apoyo del PINCC, se lograron adquirir un par de estaciones meteorológicas que han sido colocadas en la cuenca del río Magdalena, que posibilitarán monitorear a diversos plazos de tiempo, la variación climática y ser un referente fundamental de comparación con los diversos procesos ecosistémicos que ocurren y que se están valorando a diferentes escalas en la cuenca. El cambio en la vegetación, las especies características tanto en agua como en los tres tipos de bosques, ahora se podrán relacionar con estos cambios del clima y tener información que permita ubicar espacio temporalmente la incidencia de estos en el cambio en la estructura y funcionamiento de las diferentes poblaciones que conforman la cuenca. Esto también permitirá incorporar a la cuenca del río Magdalena a los sitios en México de Estudios Ecológicos a Largo Plazo (LTER por sus siglas en inglés). Ya se ha realizado la solicitud de incorporación formal a la red, para que la cuenca del río Magdalena, sea considerada un sitio de estudios a largo plazo.





Sistemas meteorológicos en Santa Rosa, cuenca del río Magdalena, Ciudad de México.

ANNUAL CLIMATOLOGICAL SUMMARY

NAME: Santa Rosa CITY: STATE:
 ELEV: 2811 m LAT: 19° 19' 50" N LONG: 99° 17' 19" W

TEMPERATURE (°C), HEAT BASE 18.3, COOL BASE 18.3

YR	MO	MEAN MAX	MEAN MIN	MEAN MEAN	DEP. FROM NORM	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	HI	DATE	LOW	DATE	MAX >=32	MAX <=0	MIN <=0	MIN <=-18
15	1														
15	2														
15	3														
15	4														
15	5														
15	6														
15	7														
15	8	17.5	10.3	13.1	0.0	26	0	19.8	30	9.1	27	0	0	0	0
15	9	16.6	10.4	12.9	0.0	12	0	19.9	2	9.2	1	0	0	0	0
15	10														
15	11														
15	12														
		17.2	10.3	13.0	0.0	38	0	19.9	SEP	9.1	AUG	0	0	0	0

PRECIPITATION (mm)

YR	MO	TOTAL	DEP. FROM NORM	MAX OBS. DAY	DATE	DAYS OF RAIN OVER		
						.2	2	20
15	1							
15	2							
15	3							
15	4							
15	5							
15	6							
15	7							
15	8	18.8	0.0	10.2	29	3	2	0
15	9	29.8	0.0	29.4	2	2	1	1
15	10							
15	11							
15	12							
		48.6	0.0	29.4	SEP	5	3	1

WIND SPEED (km/hr)

YR	MO	AVG.	HI	DATE	DOM DIR
15	1				
15	2				
15	3				
15	4				
15	5				
15	6				
15	7				
15	8	2.1	22.5	26	E
15	9	1.3	17.7	2	SW
15	10				
15	11				
15	12				
		1.8	22.5	AUG	E

