



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

CARRERA DE BIOLOGÍA

Evaluación de contaminantes foliares y producción de
biomasa aérea en *Buddleja cordata* Kunth en la
Ciudad Universitaria de la UNAM, México D. F.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGO

PRESENTA: Mendoza Montiel Juan Antonio

DIRECTORA: Dra. María del Pilar Ortega Larrocea

AESOR INTERNO: M. en C. Germán Calva Vásquez



México., D.F. Febrero, 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

“ZARAGOZA”

DIRECCIÓN

**JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
P R E S E N T E.**

Comunico a usted que el alumno **MENDOZA MONTIEL JUAN ANTONIO**, con número de cuenta **307225029**, de la carrera de Biología, se le ha fijado el día **10 de febrero de 2016** a las **11:00 hrs.**, para presentar examen profesional, el cual tendrá lugar en esta Facultad con el siguiente jurado:

PRESIDENTE M. en C. ELISEO CANTELLANO DE ROSAS

VOCAL Dra. MARÍA DEL PILAR ORTEGA LARROCEA*

SECRETARIO M. en C. GERMÁN CALVA VÁSQUEZ

SUPLENTE M. en C. ARMANDO CERVANTES SANDOVAL

SUPLENTE Dr. EFRAÍN REYES ÁNGELES CERVANTES

El título de la tesis que presenta es: **Evaluación de contaminantes foliares y producción de biomasa aérea en *Buddleja cordata* Kunth en la Ciudad Universitaria de la UNAM, México, D.F.**

Opción de titulación: Tesis

Agradeceré por anticipado su aceptación y hago propia la ocasión para saludarle.

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
México, D. F., a 08 de diciembre de 2015

DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NÚÑEZ
DIRECTOR



RECIBÍ
OFICINA DE EXÁMENES
PROFESIONALES Y DE GRADO

VO. BO. ---
M. en C. ARMANDO CERVANTES SANDOVAL
JEFE DE CARRERA

DEDICATORIAS

En primer lugar a mis padres, ya que sin esas dos maravillosas personas yo no estaría en este punto tan importante en mi vida. Sin su educación, amor, comprensión pero sobre todo apoyo incondicional no sería el hombre que soy ahora. Gracias infinitas por todas las virtudes que forjaron en mí, estoy en deuda eterna con ustedes la cual jamás podré pagarles. Los amo.

A mis hermanos Dan, Fer y Gabo. Gracias Dan por encaminarme en el mundo de la ciencia y el conocimiento, el hermano mayor es importante en la vida de alguien. Fer, tú siempre fuiste mi compañero de juegos y aventuras y me has enseñado que se puede hacer todo por un ser querido. Gabo, después de tu llegada inesperada la familia cambió totalmente para bien, eres mi compañero de juego de un tiempo para acá; jamás cambies. Hermanos, esto es dedicado a ustedes mil gracias por apoyarme ahora y siempre. Los amo.

A tí que has estado, estás y espero estés siempre. Este trabajo también es tuyo por toda la ayuda que me brindaste y no bastan las palabras para expresar mi gratitud por el apoyo, paciencia, enseñanzas, regaños, tiempo y demás que me diste. Estoy eternamente agradecido. Te amo Ale.

A la Doctora Ma. del Pilar Ortega por el apoyo, la paciencia, la sabiduría y tiempo que me otorgó durante estos años como mentora y como persona.

A mis amigos que estuvieron siempre a mi lado e hicieron de la carrera un periodo inolvidable: Diego, Eder, Iván (Pache), Jake, Tona, Miros, Anayeli, Fernando (La Güera), Daniel y todos los demás que me brindaron su amistad. Por estar conmigo y porque siempre me enseñaron cosas nuevas.

A mis amigos del bachillerato: Abraham, Gabo, Luis Josué, Pedro, Ricardo, Mariana. Porque han estado conmigo desde hace ya algunos años y sigo gozando de su amistad.

A mi amiga de antaño Sandra. Porque la amistad es una de las cosas que el tiempo no rompe. Gracias por el apoyo, consejos y demás.

A todas las personas que han pasado por mi vida en algún punto, porque sin ustedes no sería el mismo. Gracias

Juan Antonio Mendoza Montiel

Al Geopedregal...

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por darme la oportunidad de formarme profesionalmente dentro de sus instituciones durante todo este tiempo.

A la Dra. María del Pilar Ortega Larrocea por permitirme formar parte de su equipo de trabajo y facilitarme todos los medios para que este trabajo fuera posible.

Al M en C. Germán Calva Vásquez, asesor interno, por las observaciones y aportaciones que brindó al trabajo.

A los sinodales por las aportaciones oportunas y puntuales y por el tiempo dedicado a la revisión de esta tesis. Muchas gracias.

A la M. en C. Iris Suárez Quijada por su apoyo en el uso de los equipos para el secado y molienda del material usado en este trabajo, así como por la asesoría en el uso y registro de imágenes en los microscopios y por la vinculación con el Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía y facilitación de materiales de distinta índole.

A la M en C. Kumiko Shimada Miyasaka del Laboratorio de Edafología Ambiental por su apoyo y asesoría en el espacio para la digestión ácida de muestras vegetales en sistema de microondas.

Al M. en C. Javier Tadeo León del Laboratorio de Espectroscopía Atómica por el apoyo en la digestión ácida del material vegetal y la realización de la lectura en ICP-OES de elementos traza.

A la Dra. Edith Garay Serrano por su aportación de conocimiento para la identificación de organismos fúngicos para el trabajo.

A la Q.F.B. Fabiola Vega García por su orientación en cuanto a los métodos de procesamiento del material.

A Ilse A. Carmona por el apoyo y aporte que tuvo en todo el proceso del trabajo y por el tiempo invertido. Gracias infinitas.

A mis compañeros y equipo de trabajo del Geopedregal: Emmanuel, Hugo, Pedro, Nestor, Iñaki, Mariel, Viviana, Edith, Chantal y todas las demás personas involucradas en el procesamiento del material.

Esta tesis fue financiada en el marco de los proyectos DGAPA-PAPIIT IT101812 y DGAPA-PAPIME PE108915, así como con el programa de becas internas del Instituto de Geología de la UNAM. El desarrollo de la misma se realizó en el Laboratorio de Microscopía y el Laboratorio Microcosmos Bioedáfico, así como en el taller de Molienda todos en el Departamento de Edafología del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Índice	Página
I. Resumen.....	1
II. Introducción.....	2
III. Marco Teórico.....	3
3.1 Origen y transporte de contaminantes atmosféricos (partículas, emisiones).....	3
3.2 Papel de las áreas verdes urbanas en la captación de contaminantes foliares.....	5
3.3 Absorción de contaminantes foliares por especies arbóreas.....	9
3.4 Biomasa aérea y absorción de contaminantes.....	10
IV. Antecedentes.....	11
V. Justificación.....	12
VI. Hipótesis.....	14
VII. Objetivos.....	14
VIII. Descripción del área y especie de estudio.....	15
8.1 Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.....	15
8.2 Geopedregal.....	16
8.3 Descripción y selección de la especie de estudio.....	18
IX. Materiales y Métodos.....	20
9.1 Determinación de biomasa aérea decidua.....	20
9.2 Cálculo de captura de carbono.....	22

	Página
9.3 Registro fotográfico y toma de muestras para la evaluación de partículas sólidas adheridas a la superficie foliar	23
9.4 Cuantificación de contaminantes retenidos en hojas de <i>Buddleja cordata</i>	24
9.5 Análisis estadístico para datos de biomasa y contaminantes.....	25
X. Resultados	26
10.1 Producción de biomasa aérea decidua de <i>Buddleja cordata</i>	26
10.2 Captura de carbono de <i>Buddleja cordata</i> en el Geopedregal.....	31
10.3 Partículas adheridas a la superficie foliar de <i>Buddleja cordata</i>	32
10.4 Cuantificación de contaminantes retenidos en hojas de <i>Buddleja cordata</i>	41
XI. Discusión	48
11.1 Producción de biomasa aérea decidua y captura de carbono.....	48
11.2 Partículas adheridas a las superficies foliares en <i>Buddleja cordata</i>	52
11.3 Cuantificación de contaminantes elementales retenidos en hojas de <i>Buddleja cordata</i>	53
Conclusiones	58
XII. Literatura citada	60
XIV. Anexos	70

I. RESUMEN

Buddleja cordata Kunth es uno de los elementos florísticos más abundantes y con mayor valor de importancia ecológica en la vegetación del sur de la Ciudad de México y de la Ciudad Universitaria (CU) en la Universidad Nacional Autónoma de México. En esta investigación, se estimó la biomasa decidua foliar (BDF) mensual y anual de esta especie en un pedregal sujeto a restauración ecológica dentro de la C.U., con el objeto de calcular la captura de carbono y la absorción foliar de elementos contaminantes. El estudio se hizo en 11 individuos de tres categorías de copa foliar en este pedregal cuya ubicación tiene una afectación por el tránsito vehicular en los que se hicieron determinaciones para 27 elementos en muestras de hojas. Además, se compararon con hojas recolectadas en individuos localizados en un pedregal adyacente a la avenida Insurgentes y en la zona núcleo poniente de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA). La aportación mensual de BDF promedio fue de 8.2 Kg mes⁻¹ donde el mes de mayor producción fue diciembre que correspondió al inicio de la temporada de secas. La captura de carbono fue en promedio de 49.5 Kg·año⁻¹. Los individuos con copa foliar menor a 30 m² contrastaron en su aporte de BDF con los de gran envergadura quienes capturaron hasta seis veces más carbono. Se estimó un total de 225 kg de biomasa decidua y 73.7 gm² año⁻¹ de la productividad primaria neta aérea en todos los individuos presentes para este sitio. En la retención de partículas en la superficie foliar solamente se observaron estructuras de hongos del género *Alternaria* que junto con las concentraciones más elevadas de contaminantes elementales mostraron diferencias en sitios directamente expuestos al paso vehicular. Las concentraciones menores de los elementos cuantificados se presentaron en individuos en la REPSA y variaron de acuerdo al elemento siendo para Al, Pb y Se significativamente diferentes y para Ba y V más concentrados en los sitios expuestos directamente a emisiones vehiculares. El análisis de correlaciones mostró que varios de estos elementos tienen un origen antropogénico atribuible a las fuentes de emisión.

Palabras clave: contaminación ambiental, servicios ecosistémicos, Geopedregal, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, biomasa foliar, captura de carbono.

II. INTRODUCCIÓN

La Ciudad de México y su Zona Metropolitana, con una población de más de 20 millones de habitantes y con una flota vehicular de más de 3 millones de automóviles, es una de las ciudades más pobladas del mundo (Chow *et al.*, 2002). Los gases emitidos principalmente por vehículos automotores (entre otros) han hecho de esta extensa zona un área de estudio potencial para estudios de contaminación ambiental. En años recientes, el interés por la contaminación en zonas urbanas ha aumentado debido al impacto que tiene en la salud humana y el incremento en hospitalizaciones debido a problemas cardiovasculares y respiratorios (Ram *et al.*, 2012). Las actividades humanas se consideran como las fuentes más importantes de aporte de elementos traza atmosféricos, por la producción industrial, la combustión fósil y la incineración de desechos en zonas urbanas (Bargagli, 1998). Existen también otras fuentes de aporte natural de elementos traza atmosféricos como las partículas de suelo levantadas por el viento, las emanaciones volcánicas y los incendios forestales naturales (Bargagli, 1998).

Para amortiguar el impacto en la salud humana de la contaminación atmosférica, las áreas verdes juegan un papel preponderante. Ciudades como Chicago, en EUA, han mostrado que sus áreas verdes remueven hasta 650 ton de contaminantes por retención de partículas en la superficie foliar y secuestro de gases contaminantes (Nowak, 1994). En el caso de la Ciudad de México, se cuenta con muy pocas áreas verdes en toda su extensión (632.66 Km² de superficie en la que se tiene un total de 128.3 Km² de áreas verdes que corresponde a menos del 20 %) (Meza-Aguilar y Moncada-Maya, 2010; Rivas-Torres, 2005). La zona sur del Valle de México, tiene una mayor superficie de áreas verdes, siendo las áreas naturales protegidas (ANP) y parques ecológicos las principales zonas con vegetación. Las delegaciones de Tlalpan y Coyoacán

tienen aproximadamente el 30% de las áreas verdes (Meza-Aguilar y Moncada-Maya, 2010) donde las principales zonas de vegetación que contribuyen a la captura de carbono y a la retención de contaminantes foliares incluyen al Bosque de Tlalpan, la zona de Cuicuilco y el Parque Ecológico de la Ciudad de México. La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA), bajo la protección de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), representa el último relicto de matorral xerófilo de *Senecio praecox* (*Pittocaulon praecox* (Cav.) H. Rob. & Brettell) del sur del Distrito Federal (Lot-Helgueras *et al.*, 2009) y una de las pocas reservas urbanas existentes en dicha zona. Su aporte a la mejora de la calidad del aire con la captura de partículas sólidas adheridas a la vegetación y con la captación de contaminantes atmosféricos, no ha sido del todo estudiada aunque sí reconocida y por tanto es un tema de interés para la caracterización de los servicios ecosistémicos que provee dicha reserva junto con sus pedregales remanentes inmersos dentro de la Ciudad Universitaria, a la población del sur de la Ciudad de México.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Origen y transporte de contaminantes atmosféricos (partículas, emisiones).

El material particulado es definido como una mezcla heterogénea de sustancias químicas y partículas que varían en tamaño, morfología y composición química y que se han catalogado en dos tamaños principalmente: menor a 10 (PM₁₀) y menor a 2.5 micras (PM_{2.5}) (Environment Agency, 2012). Elementos asociados con un tamaño muy pequeño (<2.5 µm de diámetro) son cenizas esféricas, que son emitidas por fuentes de combustión y son más susceptibles que las partículas del suelo a disolverse y con ello contribuir significativamente a liberar

As, Cd, Cu, Zn y otros elementos. En estudios previos, han sido caracterizadas químicamente por Chow (2002), mostrando que del 70-80% son metales y aproximadamente el 13% de éstos son tóxicos; los más relevantes son el Pb, Cd, Zn, As, Sb, Ba, Cu y Mn. Con relación a las $PM_{2.5}$ las vialidades, pavimentadas y sin pavimentar, siguen siendo la principal fuente de generación de este contaminante. Bargagli (1998) aseveró que el tráfico automovilístico contribuye significativamente a la contaminación del aire en las áreas urbanas, generando PMs y metales pesados alrededor de los caminos (circuitos). Distintos autores reportaron que el tránsito vehicular es una gran fuente de emisión de partículas finas y metales en la atmosfera en los ambientes urbanos (Cadle *et al.*, 1997; Janssen *et al.*, 1997) y dado su aumento de manera drástica en los últimos años, se ha elevado la presencia de partículas sólidas en la atmósfera (PM_{10} y $PM_{2.5}$). Un caso particular es el reportado por Monaci y col. (2000) quienes evidenciaron que el Al es emitido por la combustión de autos con convertidores catalíticos. Otras categorías de importancia en la emisión de partículas son la fabricación de productos a base de minerales no metálicos y las actividades agrícolas, los procesos de combustión, en particular, el uso del diésel en los tracto-camiones y el gas licuado de petróleo utilizado en el sector habitacional.

La contaminación ambiental de la Ciudad de México es monitoreada por la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) a través del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA). Dicho organismo establece los “contaminantes criterio”, los cuales se definen como los causantes de efectos adversos en la salud: ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO), monóxido de carbono (CO) y partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ (Cuadro 1). Al respecto, existe legislación mexicana publicada en la Norma Oficial (NOM-025-SSA1-1993) la cual establece el valor límite permisible para la concentración total de partículas suspendidas en aire. El Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) de la Ciudad de México, mediante la SEDEMA reportó en su “Inventario de emisiones de contaminantes y de efecto invernadero 2012” que algunas de las principales aportaciones de las PM_{10} son por parte de las vialidades pavimentadas y sin pavimentar, las cuales se generan debido a la re-suspensión de polvo durante el paso vehicular sobre las

vialidades. De manera general, las áreas de mayor generación de estos contaminantes se ubican en las delegaciones Cuauhtémoc, Benito Juárez, Iztacalco, Venustiano Carranza, norte de Iztapalapa, en la colindancia de Gustavo A. Madero con Azcapotzalco y en los municipios de Tlalnepantla de Baz, Naucalpan de Juárez, Atizapán de Zaragoza, Nezahualcóyotl y el sur de Ecatepec.

Cuadro 1. Contaminantes criterio establecidos por la Secretaría del Medio Ambiente (2008) en emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México en el año 2006.

Sector	Emisiones															
	PM ₁₀		PM _{2.5}		SO ₂		CO		NO _x		COT		COV		NH ₃	
	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]
Fuentes puntuales	4,869	21.1	826	13.3	3,555	51.4	6,637	0.3	21,255	10.9	112,209	12.7	106,992	18.9	204	1.0
Fuentes de área	12,133	52.6	1,366	22.1	34	0.5	7,370	0.4	12,645	6.5	537,032	60.6	238,294	42.1	15,381	77.2
Fuentes móviles	5,248	22.8	3,835	61.9	3,324	48.1	1,976,799	99.3	159,541	81.9	208,843	23.6	193,294	34.1	4,351	21.8
Vegetación y suelos	803	3.5	164	2.6	N/A	N/A	N/A	N/A	1,248	0.6	27,481	3.1	27,481	4.9	N/A	N/A
Total	23,053	100	6,191	100	6,913	100	1,990,806	100	194,689	100	885,565	100	566,061	100	19,936	100

N/A: No Aplica

PM₁₀ (partículas menores a 10 µm), PM_{2.5} (partículas menores a 2.5 µm), SO₂ (dióxido de azufre), CO (monóxido de carbono), COV (compuestos orgánicos volátiles), NO_x (óxidos de nitrógeno), COT (compuestos orgánicos totales), NH₃ (amoníaco).

3.2 Papel de las áreas verdes urbanas en la captación de contaminantes foliares

Las ciudades son sistemas ambientales de infinita complejidad y los datos de climas urbanos, calidad del aire y otros, muchas veces carecen de significados espaciales y temporales donde se hacen generalizaciones que no consideran debidamente la escala de los problemas que representan (Romero *et al.*, 2010). A microescala, cada objeto del paisaje urbano genera especiales flujos e intercambios de materia y energía entre la atmosfera, los suelos, la vegetación, las calles, las casas, los edificios, las industrias, los parques. Los aerosoles y gases que contaminan la atmosfera, junto con el cambio de uso de suelo (conversión agrícola y forestal y pavimentación), generan importantes transformaciones sobre

las temperaturas, presión atmosférica, precipitación, humedad relativa y vientos (Romero *et al.*, 2010). El aire se considera contaminado cuando su composición se ve alterada con sustancias extrañas, que dependiendo sus concentraciones y periodo de mantenimiento en el mismo, resultan nocivos para la salud del ecosistema. Todos estos contaminantes del aire raramente existen solos ya que la mayoría están combinados, teniendo efectos ya sea sinérgicos, aditivos o antagónicos, es decir co-actúan con otros (Fenger, 1999). La mayor parte de la contaminación del aire es de origen antrópico por la combustión ineficiente de combustibles fósiles (los gases de escape de los automóviles) o de biomasa (madera, hierba seca, entre otros); por ello las zonas urbanas presentan los niveles de contaminación y de impacto ambiental más altos. Dentro de los contaminantes atmosféricos más comunes están los metales pesados emitidos a la atmosfera por diversas actividades realizadas en las zonas urbanas (Anze, 1996). Los contaminantes aéreos también se depositan en el suelo u otras superficies como en las plantas y el agua. De ahí que los árboles de las zonas urbanas influyan directa e indirectamente en el ambiente, mejorando la calidad del aire, proveyendo sombra y moderando la temperatura y los microclimas (Escobedo *et al.*, 2008); todo esto considerado como servicios ecosistémicos de provisión y regulación. El arbolado, las áreas verdes y áreas naturales urbanas capturan material particulado presente en el aire de las ciudades, conteniendo partículas de polvo, polen y metales, entre otras sustancias procedentes de las actividades antropogénicas y esto disminuye el deterioro a la salud. Sin embargo, algunos de estos contaminantes pueden ser absorbidos por las plantas causándoles un deterioro o inclusive conducirlos hasta su muerte. Las hojas de las plantas reciben elementos aéreos por deposición húmeda (precipitaciones) o seca (partículas atmosféricas y elementos gaseosos) y absorben elementos gaseosos o acumulan partículas aéreas de origen natural (suelo, polvo) y antropogénico (ceniza y otros productos de la combustión) por intercepción, impacto o sedimentación (Bargagli, 1998).

Nowak y col. (2002) mencionaron que las áreas verdes urbanas pueden mejorar la contaminación del aire de distintas formas como son: 1) removiendo

directamente el contaminante; 2) emitiendo químicos atmosféricos directamente de la vegetación o indirectamente a través de las prácticas de mantenimiento de la vegetación; 3) alterando los microclimas urbanos y 4) disminuyendo el uso de la energía eléctrica y consecuentemente, las emisiones de las plantas de energía. El aumento de la demanda de energía en las áreas urbanas, causado por la actividad industrial, el uso de vehículos, calefacciones y otras actividades humanas, favorece el aumento de la contaminación ambiental, causada por las emisiones de material particulado de diferentes tamaños y diferente tipo de gases. Brack (2002) mencionó que algunos de estos beneficios son relevantes en el mejoramiento de la contaminación reduciendo los requerimientos de energía o capturando materiales gaseosos y particulados (Cuadro 2).

Cuadro 2. Beneficios de un bosque urbano (modificado de Brack, 2002).

Beneficios relacionados con mitigación de contaminación	Otros beneficios
• Mejora de los extremos climáticos urbanos	• Contribución estética, belleza escénica y entorno visual ameno.
• Mitigación de isla de calor urbana	• Mejora arquitectónica de las construcciones
• Almacenamiento y secuestro de carbono	• Aumenta valor de las propiedades
• Reducción de contaminación de ruido	• Incrementa privacidad, barreras contra escenas estresantes
• Mejora calidad del aire	• Controla el brillo y reflexión urbanos
• Mejora calidad del agua	• Mejora la calidad de la vida urbana
• Temperaturas bajas de los autos estacionados	• Incrementa el turismo
• Reducción de volatilización del asfalto	• Provee oportunidades para recreación extramuros y diversión
• Reducción en el consumo de electricidad para calefacción y aire acondicionado	• Contribuye a la salud humana y relajación, reduce el estrés y la ansiedad
• Reducción de la necesidad de invertir en nuevos servicios de energía	• Atrae aves y demás vida silvestre
	• Útil como una fuente de madera

Los árboles pueden remover la contaminación interceptando partículas aéreas y algunas de éstas pueden quedar absorbidas en el árbol *per se*. Aunque la mayoría de partículas interceptadas son retenidas en la superficie de la planta; ofrecen la habilidad para remover cantidades significantes de contaminantes del

aire y consecuentemente mejorar la calidad ambiental y la salud humana. La remoción de contaminantes del aire como dióxido de sulfuro (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y partículas sólidas es un servicio ecosistémico importante generado por la vegetación urbana (Jim y Chen, 2008). Numerosos beneficios de bosques o arbolado urbano han sido reportados por Daily (1997) quien definió un servicio ecosistémico como: *“las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies que los conforman, sostienen y satisfacen la vida humana. Estos mantienen la biodiversidad y la producción de los bienes ecosistémicos como alimentos del mar, forraje, biomasa combustible, fibras naturales y muchos productos farmacéuticos e industriales y sus precursores”*. Los servicios ecosistémicos se dividen en cuatro categorías de acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA por sus cifras en inglés) (2005): aprovisionamiento, regulación, culturales y de soporte. Los servicios de regulación se refieren a los beneficios obtenidos de la regulación de los procesos ecosistémicos incluyendo el mantenimiento de la calidad del aire, regulación del clima, regulación del agua, control de la erosión, purificación del agua y tratamiento de desechos. Los servicios de regulación permiten el control de las enfermedades humanas, el control biológico, la polinización y la protección de las tormentas. Una parte del mantenimiento de la calidad del aire se puede dar a través del aporte y extracción de químicos a la atmósfera: un ejemplo claro de esto lo dan Nowak (1994) y McPherson y col. (1997) quienes estimaron que en Chicago, cerca de 5575 Mg de contaminantes fueron removidos en 1991 por la vegetación urbana en los cuales se incluyeron 223 Mg de CO, 706 Mg de SO_2 , 806 Mg de NO_2 , 2000 Mg de O_3 y 1840 Mg de PM_{10} . El valor monetario anual de los beneficios de remoción de contaminantes del aire por parte de árboles urbanos en la ciudad alcanzó los 9.2 millones de dólares en dicho año. Wee (1999) demostró que existe una relación entre el área de copa de los árboles y los beneficios en dólares en varios estudios de los Estados Unidos.

3.3 Absorción de contaminantes foliares por especies arbóreas.

Las plantas biomonitores son definidas por Weinstein y Davison (2004) como aquellas que son tolerantes a ciertas sustancias tóxicas o no y las acumulan en sus tejidos foliares y no foliares (corteza, tallos, ramas, flores). Las especies de plantas que mejor concentran o sirven para la detección y acumulación de estas sustancias se definen como biomonitores. Las plantas que más se usan como biomonitores en estudios de calidad ambiental son líquenes y musgos (Zambrano *et al.*, 2000 y 2002). Menos trabajos han considerado a los arbustos y árboles: Fernández-Espinosa y Rossini-Oliva (2006) reportaron para la ciudad de Sevilla, España, la presencia de Ba, Cu, Mn, Ni, Pb y V en las superficies foliares de *Nerium oleander* y *Lantana camara*. El Cu y Mn se encontraron en mayores concentraciones en los sitios con mayor circulación de vehículos, sugiriendo el aporte inmediato de la combustión del motor de los automóviles. Al-Khlaifat y Al-Khashman (2007) encontraron en varios individuos de *Phoenix dactylifera* (palma datilera) ubicados en sitios con perturbación de tráfico vehicular en la ciudad de Aqaba, Jordania, que se adhirieron Cr, Cu Ni, Pb, Zn y otros metales tóxicos a sus superficies foliares. Monaci y col. (2000) utilizaron *Quercus ilex* como sujeto de estudio, hallando concentraciones altas de Ba, Cd, Cu, Fe, Mn Pb y Zn en los sitios perturbados por tránsito vehicular a comparación del sitio con casi nula interacción con el tránsito. Sawidis y col. (2011) en su estudio llevado a cabo en tres distintas ciudades europeas mostraron que los árboles *Platanus orientalis* y *Pinus nigra* presentaron la captura de cuatro distintos metales en sus hojas y corteza (Cr, Cu, Fe y Pb). Ugolini y col. (2013) reportaron que *Quercus ilex* es un gran bio-retenedor de contaminantes (Zn, Cu, Pb, Cd, Fe, Mn, Cr y Ba) en la superficie de sus hojas, principalmente los emitidos por la circulación vehicular. De igual manera, Simon y col. (2014) demostraron que en los sitios urbanos con aportaciones constantes de emisiones de automóviles, la cantidad de partículas sólidas adheridas a las hojas del arbolado (*Acer negundo* y *Celtis occidentalis*) fue

mayor que en el área rural que se muestreó. También encontraron que los árboles con mayor número de tricomas en sus hojas tienen una mayor incidencia de las partículas sólidas siendo mejores como bio-retenedores. De esta forma, se puede acotar que la naturaleza y condición de la superficie específica de la planta, la parte en cuestión y el estadio de desarrollo juegan un rol importante en la retención de partículas aéreas (v. gr. hojas suaves con la cutícula cerosa intacta retienen muchas menos partículas que hojas velludas o senescentes) (Bargagli, 1998).

3.4 Biomasa aérea y absorción de contaminantes

La biomasa aérea de las plantas es considerada como la materia seca vegetal que se obtiene por unidad de superficie en una determinada fecha de cosecha (Steunbing *et al.*, 2001). En general, las plantas bioindicadoras de contaminación aérea pueden ser aquellas que representan el estrato arbustivo y arbóreo dado que son las plantas perennes que generan más carbono orgánico y que en las ciudades forman parte principal de los arbolados. De esta forma, no solo es importante conocer qué elementos contaminantes capturan las plantas como los descritos en la sección anterior, sino también se debe saber el potencial del arbolado en la captura de estos elementos sacado indirectamente a través del cálculo de su biomasa. Sardans y Peñuelas (2007) mostraron que efectos de sequía ambiental pueden reducir o aumentar en varios años la captura y retención de contaminantes foliares en especies arbóreas (*Quercus ilex* y *Arbutus unedo*) y la biomasa foliar como un indicador del total de metales acumulados de los compartimentos suelo-planta. Fantozzi y col. (2013) encontraron que el follaje de *Q. ilex* que crecía en la zona urbana de Siena en Italia, capturaba en la biomasa de las copas de los árboles, cantidades considerables de elementos traza que aquellos que crecían en una zona de bosque aledaña.

IV. ANTECEDENTES

Aun cuando son muchos los estudios que han documentado la captura de contaminantes atmosféricos en la Ciudad de México y en la Zona Metropolitana, casi todos se han enfocado en líquenes y musgos como indicadores (Zambrano *et al.*, 2000, 2002). En lugares urbanos, algunos estudios han cuantificado la absorción de elementos contaminantes en hojas: Alcalá y col. (2009) analizaron cinco especies arbóreas representativas (*Melia azedarach*, *Fraxinus* sp., *Cupressus arizonica*, *Morus* spp. y *Platanus occidentalis*) ubicadas a un costado de calles o avenidas principales en el municipio de Chihuahua. Encontraron relaciones significativas para la acumulación de Fe y Mg entre las especies de árbol y la temporada y para el Mn, la relación significativa se dio sólo por la temporada. En la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), Guzmán-Morales (2010) evaluó la contaminación atmosférica en *Ficus benjamina* como biomonitor para cuantificar los metales pesados adheridos a la superficie foliar del material particulado de la atmosfera. Encontró que la concentración de Cr, Ni, Pb, Sb y Zn en todos los sitios de muestreo siempre fue mayor que la muestra control (en invernadero) y en la mayoría de los metales, sus mayores concentraciones se encontraron en la parte norte de la ZMVM. Sánchez-Landero (2013) cuantificó la contaminación en hojas de *Fraxinus udehi*, especie arbórea presente en la mayoría del arbolado urbano de la ZMVM, encontrando que la concentración de los metales variaba por la zona de muestreo, habiendo mayores concentraciones en la zona norte y de igual forma, dichas concentraciones variaron dependiendo de la época del año siendo más elevadas en el verano. Solís y col. (2007) realizaron un muestreo en el centro de la Ciudad de México en hojas de dos especies frecuentemente utilizadas y ampliamente distribuidas para el arbolado urbano (*Ficus benjamina* y *Ligustrum japonicum*), reportaron la presencia y mayor concentración de cuatro metales en la superficie de las hojas (Cu, Fe, Pb y Zn) en la temporada de secas, atribuyendo que la acción de la precipitación producía un lavado del material.

V. JUSTIFICACION

Las especies arbóreas del pedregal de San Ángel, a pesar de que se les adjudica baja importancia fisionómica, representan un importante almacén de carbono en este ecosistema contribuyendo con más de la mitad de la biomasa en tejidos aéreos no foliares durante la temporada de secas (Cano-Santana, 1994b). *Buddleja cordata* (tepozán) es una de las trece especies del estrato arbóreo del matorral xerofítico que tiene una gran importancia dentro de este ecosistema. También es considerado un elemento útil en la recuperación de áreas ecológicamente empobrecidas y tolera sitios en donde la disponibilidad de agua y de nutrimentos es limitada (especie pionera) (Mendoza-Hernández, 2002). Se encuentra ampliamente distribuido en el Valle de México a una altitud de 2250 a 3000 msnm. Se le encuentra principalmente en matorrales, pastizales y bosques aunque preferentemente en la vegetación secundaria y en lugares intensamente perturbados, incluyendo zonas urbanas (Rzedowski y Rzedowski, 2001) además de que presenta una amplia distribución en la República Mexicana (figura 1). Los trabajos de Guzmán-Morales (2010) y Sánchez-Landero (2013) mostraron que en la Ciudad de México algunos árboles retienen de manera considerable los contaminantes y que éstos cumplen un servicio ecosistémico de regulación. Sin embargo, en la Ciudad Universitaria, no existen trabajos que se hayan enfocado en analizar el papel del arbolado en la retención de contaminantes ni en la Reserva Ecológica ni en las áreas verdes, con objeto de que pueda evaluarse este servicio ecosistémico. Dada la enorme población fluctuante que acude todos los días a la Ciudad Universitaria y a que la REPSA constituye una reserva urbana, es necesario comenzar a analizar el papel que juega la vegetación en el amortiguamiento de la contaminación en la C.U. de la Universidad Nacional Autónoma de México.



Figura 1. Distribución del tepozán (*Buddleja cordata*) en la República Mexicana (tomado de Romero-Rangel *et al.*, 2003).

VI. HIPÓTESIS

Los individuos de *Buddleja cordata* que crecen en las zonas núcleo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel al no estar ubicados de manera inmediata a las fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos vehiculares, tendrán menores concentraciones de elementos contaminantes en sus hojas que aquellos que se encuentren ubicados en las áreas de amortiguamiento aunado a que la captura de contaminantes atmosféricos estará en función de la biomasa aérea de las distintas categorías de copas.

VII. OBJETIVOS

General

- Evaluar la capacidad de *Buddleja cordata* (tepozán) para capturar algunos contaminantes en sus superficies foliares en diversos sitios de la Ciudad Universitaria y analizar su producción de biomasa y captura de carbono mensualmente.

Particulares

- Conocer el aporte de biomasa aérea foliar y la captura de carbono anual y mensual de *B. cordata* en distintas categorías de tamaño en un pedregal en restauración.
- Determinar por métodos visuales la presencia de partículas sólidas adheridas a las superficies foliares de *B. cordata* en distintos sitios dentro de la Ciudad Universitaria.
- Determinar algunos de los contaminantes elementales (Al, Ba, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, V, Zn) que son retenidos en las hojas de *B. cordata* en diferentes sitios dentro de la Ciudad Universitaria.

VIII. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA Y ESPECIE DE ESTUDIO

8.1 Reserva Ecológica El Pedregal de San Ángel

Ubicación geográfica

La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) está ubicada al sur de la Ciudad de México dentro de los terrenos de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México; cuenta con una extensión de 730 ha, de las cuales 237.3 corresponden a la REPSA. Se encuentra entre las coordenadas 19°18'21"- 19°20'11" y 99°10'15"- 99°12'4", en un intervalo altitudinal de 2 292 a 2 365 msnm (Castillo-Argüero *et al.*, 2007).

Clima

El clima de la región es templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano [Cb (w1) (w)] (García, 2004). La precipitación promedio anual de 833 mm con dos épocas bien definidas, una de lluvias (de junio a octubre) y otra de secas (de noviembre a mayo) con una temperatura media anual de 15.6 °C.

Suelo

El suelo es escaso y/o inexistente teniendo la roca volcánica descubierta o expuesta en muchos sitios (Rzedowski, 1954; Cano Santana, 1994a). El suelo es orgánico por la caída y descomposición de hojarasca con un horizonte mineral incipiente y con acumulación debida al viento principalmente (origen eólico). Su profundidad varía de 0 a 30 cm, con promedio de 4.5 cm (Santibáñez-Andrade, 2005). La textura es arenoso-limosa con bajo contenido de fósforo y nitrógeno

disponibles, así como de potasio y calcio. El pH es ligeramente ácido (5.4 ± 0.1 a 6.3 ± 0.2) (Rzedowski, 1954; Martínez-Mateos, 2001).

Geología

La roca que cubre al Pedregal de San Ángel y la mayor parte de la Ciudad Universitaria proveniente del volcán Xitle, en su mayoría es basalto calcio-alcálico y andesitas basálticas (Delgado *et al.*, 1998) e igualmente Fries (1960) definió el grupo del Chichinautznin (del que forma parte el volcán Xitle) como flujos de lavas, brechas y camas de tobas con composición de basalto andesítico. El volcán hizo su única erupción hace aproximadamente 1670 +/- 35 años Antes del Presente (AP) (Siebe, 2009); esta erupción cubrió aproximadamente 70 km², área que comprende desde dicho volcán (sur de la Ciudad de México) hasta lo que hoy en día se conoce como Miguel Ángel de Quevedo.

Vegetación

La mayoría de la superficie de la REPSA corresponde a la comunidad de matorral xerófilo, misma que denominó Rzedowski (1954) como *Senecionetum praecosis*, haciendo alusión al *Senecio (=Pittocaulon) praecox*, especie en esa época dominante en la vegetación. Debido a la altitud a la que se desarrolla y a la peculiaridad del sustrato (basalto), el matorral xerófilo del derrame del Xitle no es una comunidad típica de este tipo de vegetación. Aunque ha sido descrito como un matorral abierto en que domina el estrato herbáceo (Rzedowski, 1954; Rzedowsky y Rzedowsky, 2001) durante la época de lluvias, la cubierta vegetal llega a ser muy cerrada, sobre todo en algunos microambientes específicos (Castillo-Argüero *et al.*, 2004).







8.2 GEOPEDREGAL

Dentro de la Ciudad Universitaria, existen remanentes de pedregales que han quedado fuera de los terrenos protegidos por la REPSA pero que están considerados dentro de las zonas de amortiguamiento de la misma reserva (Lot-

Helgueras *et al*, 2012). Este es el caso del Geopedregal, ubicado en el estacionamiento de los Institutos de Geología y Geografía, cuenta con un área de 3052 m². Se caracteriza por contener todos los microambientes descritos para el matorral xerófilo, vegetación nativa de la REPSA: sitio plano, promontorio, grieta, pared, cueva, hondonada (Instituto de Geología, 2013). El sitio está sujeto a restauración ecológica bajo un proyecto que surge por la iniciativa de la SEREPSA (Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del pedregal de San Ángel) denominado PROREPSA (Programa de Adopción de pedregales de la REPSA). Dicho programa busca promover que las dependencias y facultades de la UNAM, adopten relictos del pedregal aledaños a sus instalaciones para su protección, conservación y restauración (SEREPSA, 2008). El espacio se inauguró el 23 de Abril del 2013 con la firma de un acuerdo entre los directores del Instituto de Geología y Geografía (figura 2).



Figura 2. Ubicación de la Reserva Ecológica El Pedregal de San Ángel y de los sitios de estudio y de muestreo dentro de la Ciudad Universitaria, UNAM, México D. F. (Google Earth, 2016).

- | | | | | | |
|---|--------------|---|--------------------------|---|-------------------|
|  | Geopedregal |  | Zonas de amortiguamiento |  | Sitio Insurgentes |
|  | Zonas núcleo |  | Zona núcleo Poniente |  | Sendero ecológico |

8.3 Descripción y selección de la especie de estudio

Buddleja cordata Kunth descrita por Rzedowski y Rzedowski (2001) es una especie arbustiva y arbórea de la familia *Buddlejaceae* con amplia distribución en el Valle de México como elemento de la vegetación secundaria de matorral xerófilo y áreas urbanas localizadas a una altitud entre 2200 y 3000 msnm. Según la descripción dada mide de 1 a 20 m de alto y es una especie dioica; tiene tallos tetragonales y densamente tomentoso-estrellados en las ramas jóvenes, sus hojas tienen líneas estipulares o en ocasiones con estípulas foliosas. El margen de la hoja es entero, serrado, serrulado, irregularmente serrulado o en ocasiones dentado con una base obtusa, cuneada, cordada, truncada o raramente atenuada u oblicua; su venación es muy prominente en el envés y la textura es algo coriácea, presenta pubescencia de pelos estrellados muy densa en el envés de color blanco brillante. La inflorescencia está formada por grandes panículas terminales de 14 a 25 cm de largo, son ramificadas por 2 a 4 veces y con brácteas en cada ramificación; las flores son blancas o amarillentas y campanuladas, el cáliz es tomentoso. El fruto es ovoide-elipsoide, con dehiscencia septicida y loculicida con numerosas semillas aladas, de 1 a 1.5 mm de largo por 0.2 a 0.4 mm de ancho. Cano-Santana (1994b) calculó que *B. cordata* aportaba en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel el 11.3% de la productividad primaria aérea neta (PPNA). En términos de energía, su PPNA es de 1346 kJ m² año⁻¹ (69.1 gm² año⁻¹). Esto se traduce en que esta especie tiene una producción de biomasa aérea elevada y una superficie foliar promedio alta para capturar y retener partículas sólidas suspendidas en el aire y así servir de amortiguador de contaminación (figuras 3 y 4).



Figura 3. Inflorescencia de *Buddleja cordata* (tomada de CONABIO <http://naturalista.conabio.gob.mx/taxa/154027-Buddleja-cordata>).

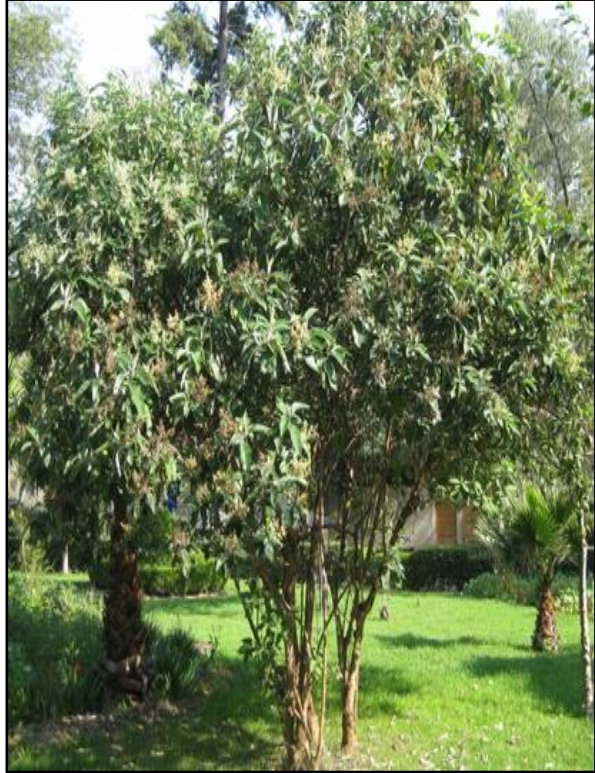


Figura 4. *Buddleja cordata* (tomada de <http://static.inaturalist.org/photos/566614/medium.JPG?1383708982>).

IX. MATERIALES Y MÉTODOS

9.1 Determinación de biomasa aérea decidua

Para determinar la aportación de biomasa aérea generada a lo largo de un año, se llevó a cabo un muestreo mensual de hojas caídas de individuos adultos ubicados en el Geopedregal. Con base en una fotografía aérea se realizó la medición de la cobertura foliar en el programa Global Mapper®. Se establecieron tres categorías: 1) de 1 a 15 m², 2) de 15 a 30 m² y 3) más de >30 m². Con ayuda de un previo levantamiento de abundancia (Valladares-Samperio, en proceso), se eligieron cuatro individuos para las dos primeras categorías y solamente tres presentaron copas mayores de 30 m².

Colocación de mallas para captura de biomasa decidua (BD)

Se colocaron mallas de sombra de 1 mm de apertura debajo de la copa de cada árbol para abarcar la cobertura foliar en su totalidad a partir del mes de mayo del 2013 (Avitia, 2013). Las mallas fueron adaptadas a la medida del fuste y se tensaron de los extremos para evitar pérdida de material por arrastre del aire y para mantenerlas despegadas del suelo evitando el aporte de materiales del mismo (figura 5).



Figura 5. Captura de hojarasca con malla abarcando cobertura foliar de un individuo de *Buddleja cordata* de la categoría 2 (Mendoza, 2013).

Recolecta y procesamiento de biomasa decidua foliar

La recolecta de la biomasa capturada en las mallas se efectuó cada 15 días como adaptación del método propuesto por González-Rodríguez y col. (2011) y se colocó extendida en charolas para su completo secado a temperatura ambiente (temporada de lluvias). La hojarasca seca se conservó en bolsas de papel estraza para su almacenamiento y se separó manualmente en hojas, tallos y flores/frutos conforme al método propuesto por Aceñolaza y col. (2009). Una vez separado el material, se procedió a secarlo en una estufa a 70 °C para obtener el peso seco a peso constante de cada una de las estructuras (hoja, tallo, flor/fruto) (figuras 6 y 7).



Figura 6. Biomasa de *Buddleja cordata* capturada en mallas (Zeno, 2013).



Figura 7. Biomasa de *Buddleja cordata* separada en hojas, tallos y flor/fruto (Mendoza, 2013).

9.2 Cálculo de captura de carbono

Con los datos de peso seco mensuales de BD se estimó el contenido de carbono. Se realizaron los cálculos de la captura carbono con la estimación de su contenido en materia orgánica, extrapolando al peso de la BD producida por cada categoría. Estas estimaciones se hicieron de acuerdo a lo reportado por Jenkins y col. (2011) quienes aseveran un contenido del 50% de carbono en la materia orgánica seca vegetal. También se aplicó la fórmula propuesta por Brown y col. (1993) para calcular el carbono total en la biomasa de vegetación secundaria ($C_{total} = Biomasa \times 0.56$).

9.3 Registro fotográfico y toma de muestras para la evaluación de partículas sólidas adheridas a la superficie foliar

Muestreo

Se seleccionaron tres sitios de muestreo con el objeto de saber si las emisiones vehiculares en zonas de mucho tránsito influenciaban en la captación de contaminantes en la superficie foliar de *B. cordata*. Como sitio control, se eligió un punto dentro de la zona núcleo Poniente de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Los sitios con impacto vehicular moderado fueron el Geopedregal en el Circuito de la Investigación Científica y el Sendero Ecológico (ubicado a un costado del museo de las ciencias Universum). Se eligió un sitio de amortiguamiento A7 con alta influencia del tránsito vehicular ubicado a un costado de la avenida Insurgentes Sur (figura 2). El muestreo en el Geopedregal se dio a lo largo de un año para calcular la biomasa y captura de carbono. El muestreo para los demás sitios se realizó en el mes de abril recolectando hojas de tres puntos de la copa de tres individuos por sitio que fueron secadas bajo las mismas condiciones anteriormente descritas.

El registro fotográfico de las hojas muestreadas consistió en seleccionar las que presentaran mayor contenido de partículas sólidas visibles. En el caso de las hojas recolectadas en el Geopedregal el registro de las hojas seleccionadas recolectadas se realizó para cada mes. Se documentaron las superficies del haz y del envés con un microscopio estereoscópico LEICA modelo MZ 12.5 a un aumento de 80 ×. Con el objeto de documentar con mayor detalle las partículas en un microscopio compuesto LEICA modelo DME con aumentos de 100, 200 y 400 ×, se realizó un raspado de ambas superficies foliares con ayuda de un bisturí y el contenido se fijó en preparaciones semipermanentes con alcohol polivinílico al 10% (PVLG).

9.4 Cuantificación de contaminantes retenidos en hojas de *Buddleja cordata*

Molido

Para el molido de hojas del Geopedregal, se seleccionaron los meses con mayor y menor retención de partículas en la superficie seleccionadas con base en el registro fotográfico. Se procedió a tomar una muestra representativa (50 g) de cada individuo después de la homogeneización de todo el material recolectado en ese mes. Se tomó el total de las hojas recolectadas en los demás sitios con el mismo peso seco por cada individuo. Las hojas fueron molidas en un molino eléctrico FRITSCH Pulverisette-14 con una criba de 0.2 mm que da un tamaño de partícula de entre 0.08 y 6.00 mm.

Digestión ácida y lectura

La digestión de las muestras se llevó a cabo con base al método EPA-3052 (US-EPA, 1996). Se pesaron 0.5 g de muestra homogeneizada en una balanza analítica y se colocaron en un liner de teflón con capacidad de 25 mL con un duplicado de una muestra al azar cada 20. Se colocó una muestra patrón de la marca NIST con número de serie 1570a –Trace elements in spinach (Anexo 1). Se le adicionaron 10 ml de ácido nítrico (HNO₃) bidestilado con un grado de pureza del 69 – 70% y se montaron en un carrusel con capacidad para 48 muestras para digerir en el sistema de reacción de microondas “Microwave 3000”, marca Anton Para. Se utilizó el programa predeterminado para digerir materia vegetal, la rampa de temperatura consistió de cuatro etapas: 1) calentamiento a 170 °C, 2 min; 2) aumento de temperatura a 180 °C, por 3 ½ min; 3) mantenimiento a 180 °C por 9 ½ min; 4) enfriamiento 20 min. La presión que mantuvo fue de 0.5 bar/s, la intensidad del infrarrojo fue de 140 °C y se ajustó a una potencia de 1200 W. Las

muestras digeridas se dejaron enfriar por aproximadamente 30 min a temperatura ambiente y se procedió a purgar los tubos en una campana de extracción para expulsar los vapores nítricos contenidos dentro. Las muestras se aforaron en matraces de 25 ml con agua Milli Q para homogeneizarlas perfectamente evitando la prevalencia de distintas fases de los líquidos. Se filtraron con filtros Whatman® grado 40 para uso de muestras sin cenizas para retención de partículas medias (8 µm) y se guardaron en tubos tipo Falcon® de polipropileno.

Para la lectura multielemental, las muestras se llevaron al Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía en el Laboratorio Espectrometría Atómica donde fueron leídas en un espectrómetro de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente, ICP-OES por sus siglas en inglés marca Optima® modelo 8300 con nebulizador ultrasónico, en el cual se leyeron 27 elementos con una solución estándar (ISTD), entre ellos metales traza.

9.5 Análisis estadísticos para datos de biomasa y de contaminantes

Para los análisis de los datos de biomasa decidua, se realizaron estadísticos descriptivos con el software STATGRAPHICS® Centurión XVI realizando análisis de varianza (ANOVA) previa verificación de normalidad y prueba comparativas entre medias. Se hizo un análisis de conglomerados por el método del vecino más cercano y métrica de distancia euclídeana. Para los datos de contaminantes foliares de igual modo se hizo prueba comparativas entre medias y análisis de correlaciones con el producto de Pearson.

X. RESULTADOS

10.1 Producción de biomasa aérea decidua de *Buddleja cordata*

La biomasa decidua (BD) de *Buddleja cordata* en once individuos del Geopedregal se cuantificó durante el periodo anual de mayo del 2013 a abril del 2014. El promedio mensual total se presenta en la figura 8 donde se observa que el incremento de la BD se dio en los meses de junio y diciembre y es inverso a la precipitación durante el periodo de muestreo registrada por la estación meteorológica ubicada a menos de 1 km de distancia del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (vía RUOA). La BD (que incluye flores y tallos) fue de 99 kg para los once individuos y la biomasa decidua foliar (BDF) de dichos individuos fue de 73 kg (Anexos1 y 2). El promedio mensual de producción de BD seca fue de 8 Kg individuo⁻¹ año⁻¹ y el promedio de la BDF para el mismo periodo fue de 6 kg individuo⁻¹ año⁻¹.

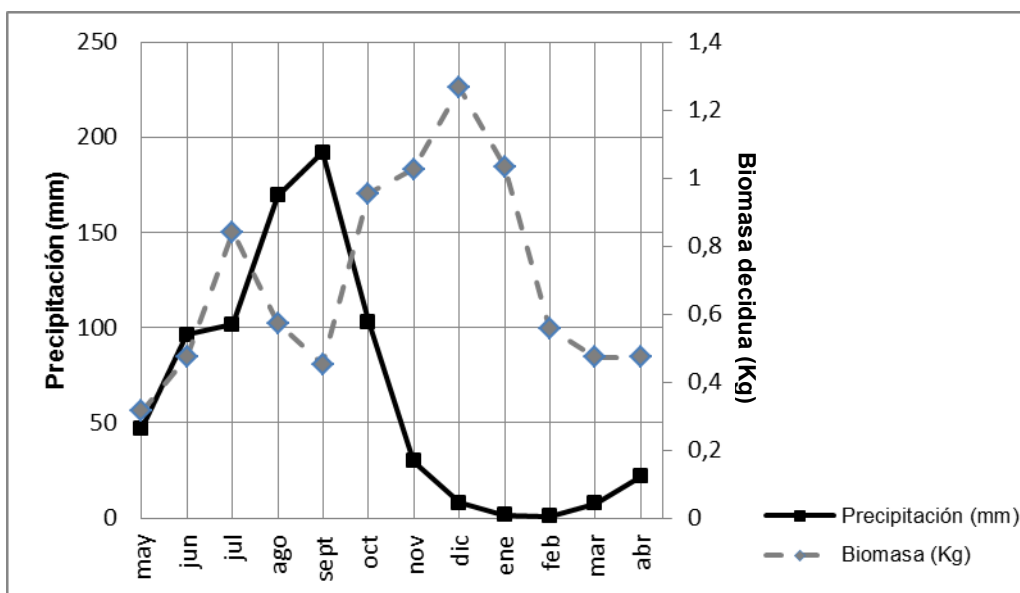
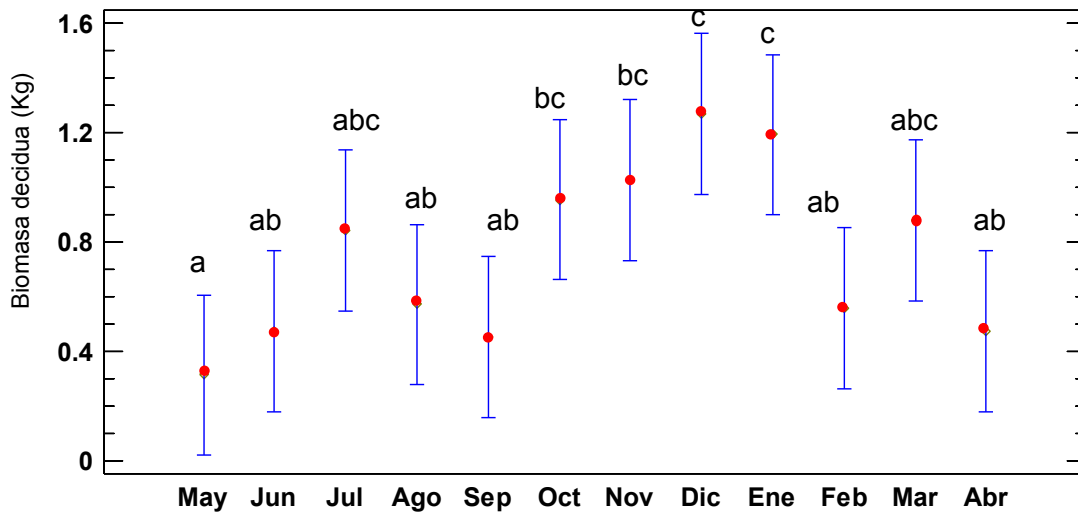


Figura 8. Promedio mensual (2013-2014) de biomasa decidua (peso seco) de *Buddleja cordata* en un pedregal sujeto a restauración ecológica dentro del campus de Ciudad Universitaria, UNAM (México D. F.) y su relación con la precipitación promedio mensual en la Ciudad de México en el periodo de muestreo.

La comparación de medias de BD se presenta en la Figura 9. El ANOVA (cuadro 3) mostró que existe una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre algunos meses de muestreo que fueron los de diciembre y enero que corresponden al inicio de periodo de secas, con el mes de mayo que corresponde al término del periodo de secas



Letras significan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Cuadro 3. Análisis de Varianza entre la biomasa decidua mensual de *Buddleja cordata* en un pedregal sujeto a restauración dentro del campus de Ciudad Universitaria, UNAM (México D.F.).

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	12.1524	11	1.10476	2.29	0.0141
Intra grupos	57.9303	120	0.482752		
Total (Corr.)	70.0827	131			

El cálculo de la BD por categoría de copa foliar se presenta en la figura 10 (Anexo 1). Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las tres categorías establecidas (cuadro 4). El análisis de comparación de medias (figura 11) mostró que las diferencias en biomasa coinciden con las tres categorías asignadas previamente por el tamaño de copa foliar con excepción de dos individuos de la categoría intermedia.

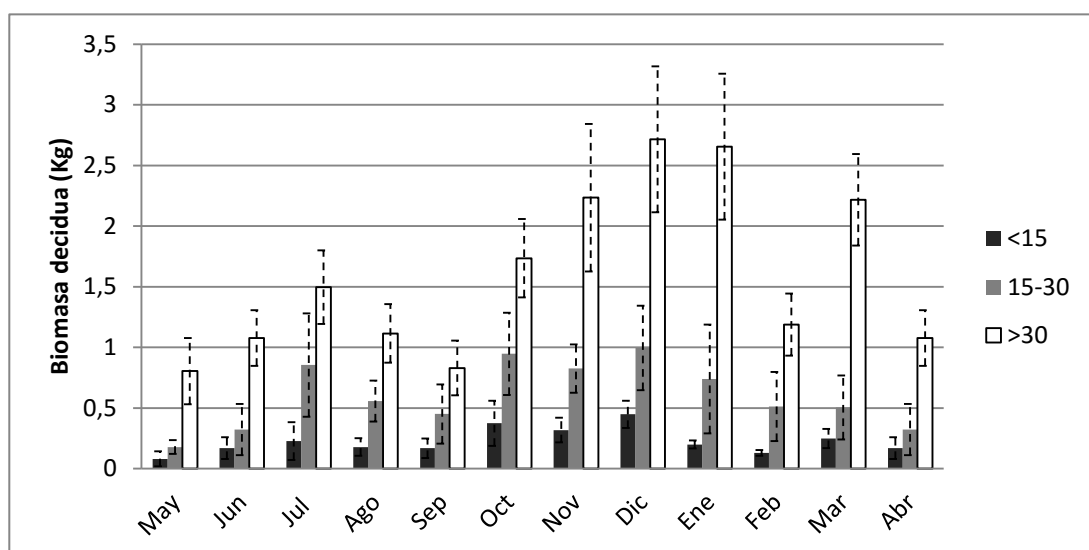


Figura 10. Promedio mensual de biomasa decidua (peso seco) de *Buddleja cordata* en un pedregal sujeto a restauración ecológica dentro del campus de Ciudad Universitaria, UNAM (México D. F.) en el periodo de 2013-2014. Las barras indican los valores de desviación estándar. Categorías dadas por área de cobertura foliar (m^2): Categoría 1 = <15; categoría 2= 15-30; categoría 3= >30.

Cuadro 4. Análisis de Varianza de la aportación biomasa decidua en individuos de *Buddleja cordata* en tres categorías de copa, en un pedregal sujeto a restauración ecológica dentro del campus de Ciudad Universitaria, UNAM (México D.F.).

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	12.0057	2	6.00286	31.68	0.0000
Intra grupos	6.25378	33	0.189508		
Total (Corr.)	18.2595	35			

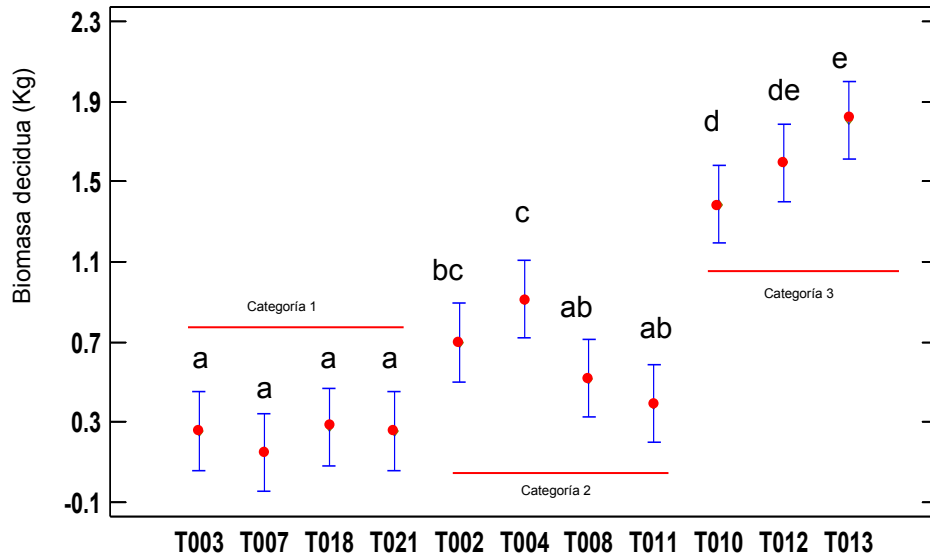


Figura 11. Promedio (\pm d. e.) de biomasa decidua mensual (2013-2014) por categorías de once individuos (T003, etc.) de *Buddleja cordata* en un pedregal en restauración dentro de Ciudad Universitaria, UNAM. Letras distintas significan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Categorías dadas por área de cobertura foliar (m^2). Categoría 1 = <15 ; categoría 2 = $15-30$; categoría 3 = >30 .

El análisis de agrupamiento (figura 12) indicó que estas categorías se dividen en dos grandes grupos en relación a su aporte de BD. La categoría 3 perteneciente a individuos con copa mayor a $30 m^2$ mostró poca diferencia entre sus integrantes y se separan por completo del conglomerado. Los individuos de la categoría 2 con copas intermedias ($15 - 30 m^2$) se mezclaron con el grupo de la categoría 1 (copas $<15 m^2$). Esto significa que los individuos de las categorías con copa foliar menor a $60 m^2$ contrastan en su aporte foliar de BDF con los individuos de gran envergadura de la categoría 3 suponiendo así que esta categoría es la que tiene una mayor diferencia en la asignación de biomasa.

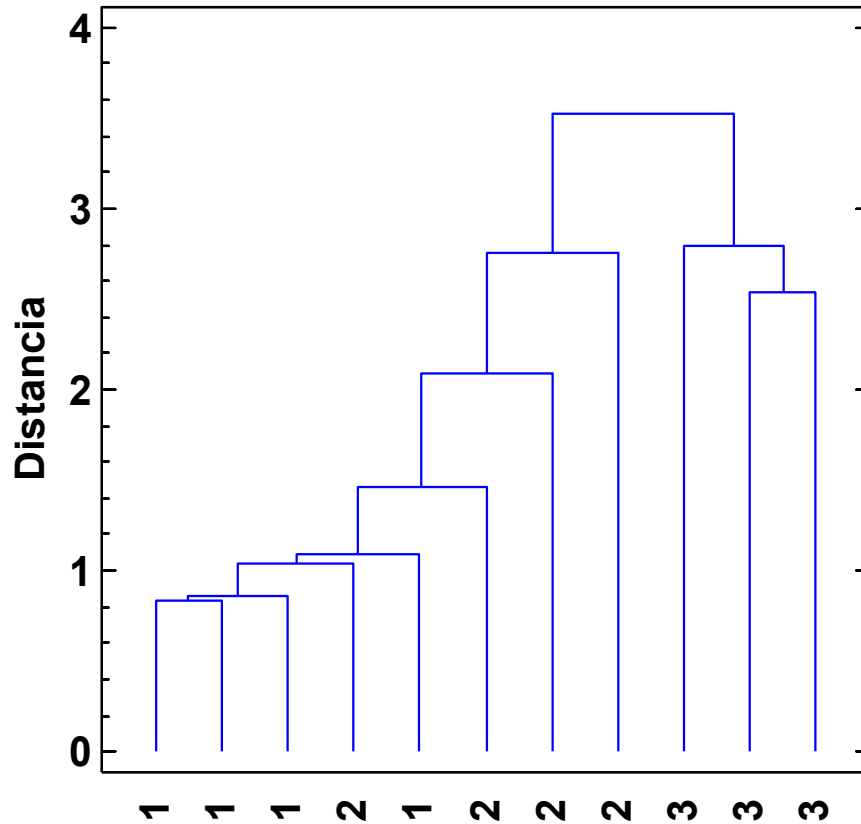


Figura 12. Análisis de agrupamiento para producción de biomasa decidua entre categorías de cobertura foliar (m^2) de *Buddleja cordata* en un pedregal sujeto a restauración ecológica dentro del campus de Ciudad Universitaria, UNAM (México D. F). Categorías de cobertura foliar: Categoría 1 = <15; categoría 2= 15-30; categoría 3= >30.

10.2 Captura de carbono de *Buddleja cordata* en el Geopedregal

El cálculo de BD anual para los individuos muestreados en el Geopedregal se estimó en un total de 99 kg año⁻¹ lo que equivale a 32.44 g m² año⁻¹ para la productividad primaria neta aérea (PPNA) y para el total de los individuos dentro del sitio (25) sería alrededor de 225 kg año⁻¹, lo que equivale a 73.7 g m⁻² año⁻¹ para la PPNA. La captura de carbono de la BD de los tepozanes del Geopedregal por categoría y total (cuadro 5) indicó que los individuos de copa foliar menor a 15 m² capturaron dos veces menos C que los de la categoría entre 15 y 30 m². A su vez, los individuos mayores (copa > 30 m²) pudieron capturar hasta 6 veces más carbono que los segundos. Se observó que el cálculo de la captura de C en general es mayor de acuerdo a lo estimado por Brown y col. (2003) debido a que su ecuación fue dada para ecosistemas de vegetación secundaria donde el estrato arbóreo es menor.

Cuadro 5. Estimación de la captura de carbono en biomasa decidua anual de tres categorías de individuos de *Buddleja cordata* en un pedregal sujeto a restauración ecológica dentro del campus de Ciudad Universitaria, UNAM (México D. F). Categoría de cobertura foliar: 1 = < 15 m²; categoría 2= 15-30 m²; categoría 3= >30 m².

Producción anual biomasa (Kg·año ⁻¹) por categoría	Captura de C (Kg·año ⁻¹)	
	(Jenkins <i>et al.</i> , 2011)	(Brown <i>et al.</i> , 1993)
1 = 11.31	5.65	6.33
2 = 30.25	15.12	16.94
3 = 57.44	28.72	32.20
Total: 99	49.49	55.47

10.3 Partículas adheridas a la superficie foliare de *Buddleja cordata*

El análisis fotográfico de las hojas y de las preparaciones semipermanentes de contenido de la filosfera de *B. cordata* tanto del Geopedregal como de los demás sitios, mostró que las superficies foliares de casi todas las hojas tanto en el haz como en el envés, se encontraron estructuras fúngicas pertenecientes al género *Alternaria* sp. según Barnett y Hunter (1972) (figura 13C). En las figuras 13 A y 13 B se observa el contraste de contenido entre el sitio conservado (control) y el Geopedregal como sitio con influencia directa del tráfico vehicular de la Ciudad Universitaria. La cobertura de la superficie foliar de los árboles de los distintos sitios localizados al lado o en la cercanía a vialidades (Geopedregal, Sendero Ecológico e Insurgentes) es visiblemente parecida (figuras 14 a 19), a excepción de los árboles de la zona núcleo Poniente de la REPSA, en los cuales las superficies foliares mostraron una menor o casi inexistente presencia de dichos organismos (figura 20). De los árboles que fueron muestreados para BD en el Geopedregal, se documentaron las superficies foliares de la hojarasca recolectada mes por mes de todos los individuos (Anexo 4). De estas fotografías, se puede apreciar que en el periodo de secas correspondiente a los meses de diciembre a mayo, las hojas presentaron menos acumulación de partículas en contraste con los meses de junio a noviembre, correspondientes a la temporada de lluvias.

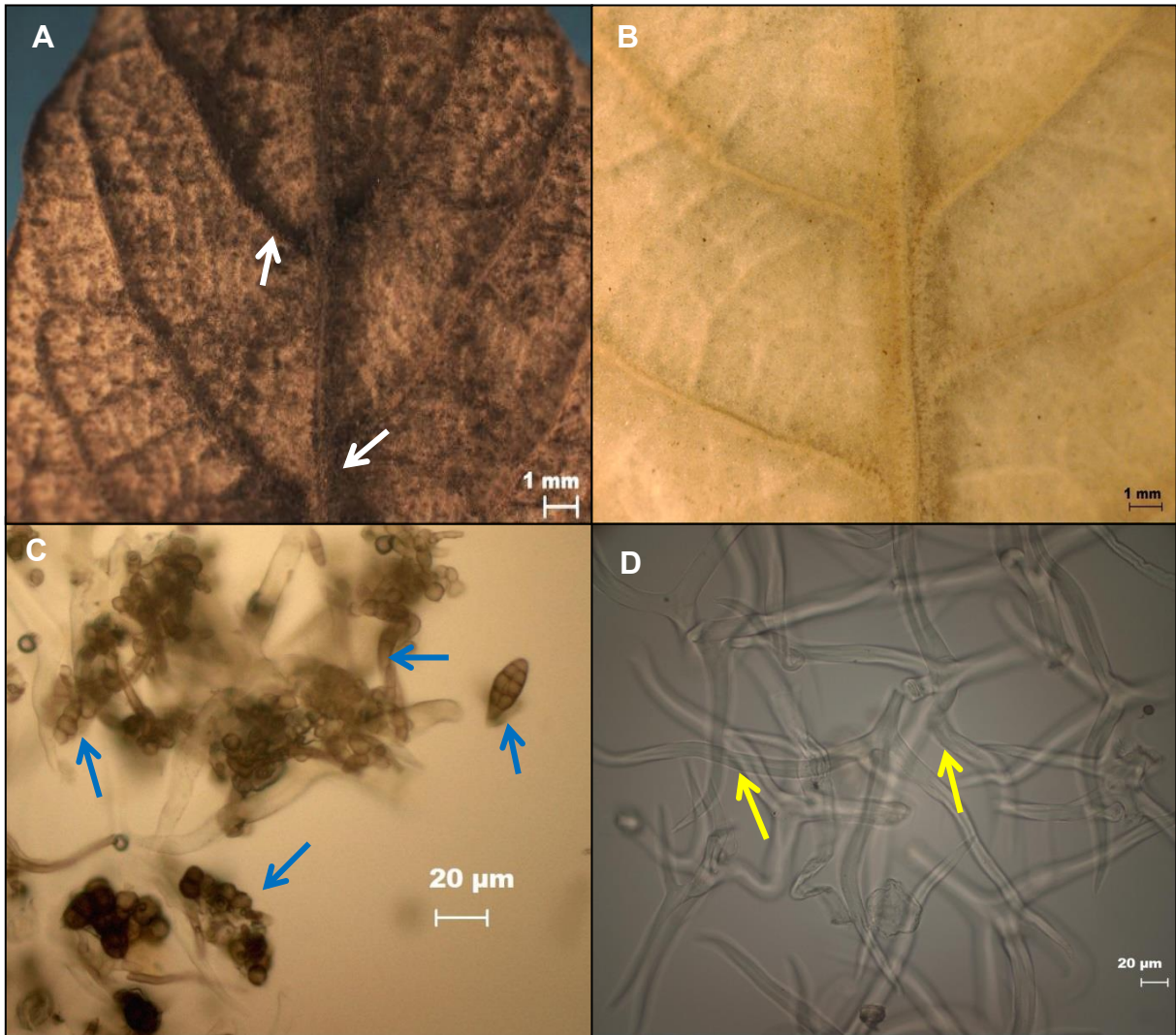


Figura 13. **A)** Aspecto del envés de una hoja de *Buddleja cordata* en microscopía estereoscópica de un individuo (T-002) ubicado en el Geopedregal (sitio sujeto a restauración) con partículas adheridas a los tricomas (flecha blanca). **B)** Aspecto del envés de una hoja de *B. cordata* en microscopía estereoscópica de un individuo (01RJB) ubicado dentro del sitio control (Zona núcleo Poniente de la REPSA) sin contenido evidente de partículas adheridas. **C)** Acercamiento en microscopía óptica campo claro del contenido de estas partículas en donde se evidencia la presencia de hifas y esporas de *Alrternaria* sp. (flechas azules). **D)** Acercamiento en microscopía óptica en campo claro del contenido de la hoja de la imagen B en donde se evidencia la ausencia de los hongos en los tricomas (flechas amarillas).

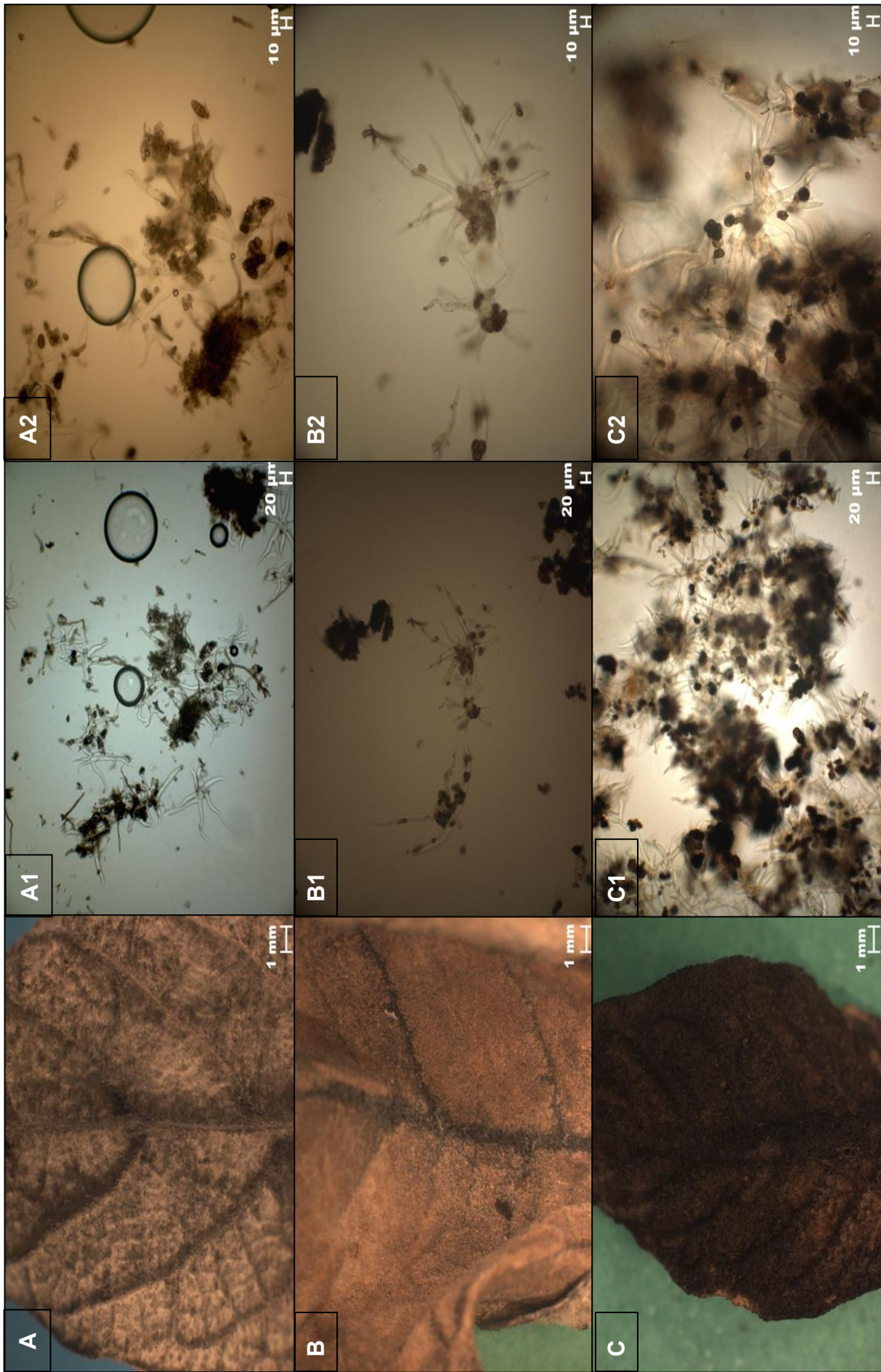


Figura 14. Aspecto de la superficie de hojas de *Buddleja cordata* en microscopía estereoscópica (izquierda) y acercamiento en microscopía óptica campo claro (central y derecha) de individuos del Geopedregal. A, A1-2) Envés (T-002 agosto 2014). B, B-1-2) Haz (T-003 julio). C, C1-2) Envés (T-010 agosto).

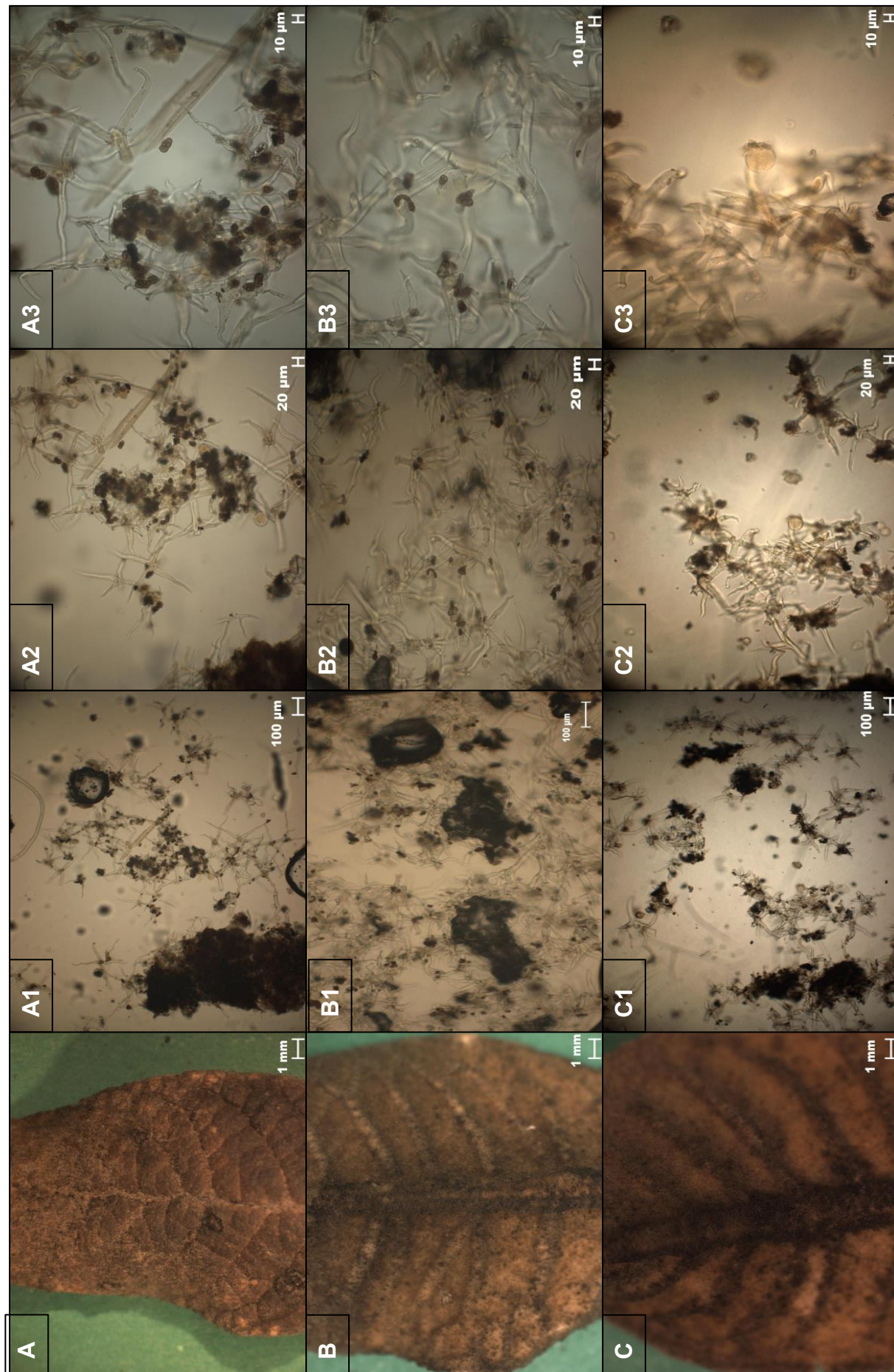


Figura 15. Aspecto de la superficie de hojas de *Buddleja cordata* en microscopía estereoscópica (izquierda) y acercamiento en microscopía óptica claro (central y derecha) de individuos del Geopedregal. A, A1-3) Haz (T-004 julio. B, B1-3) Envés (T-007 julio). C, C1-3) Envés (T-008 julio).

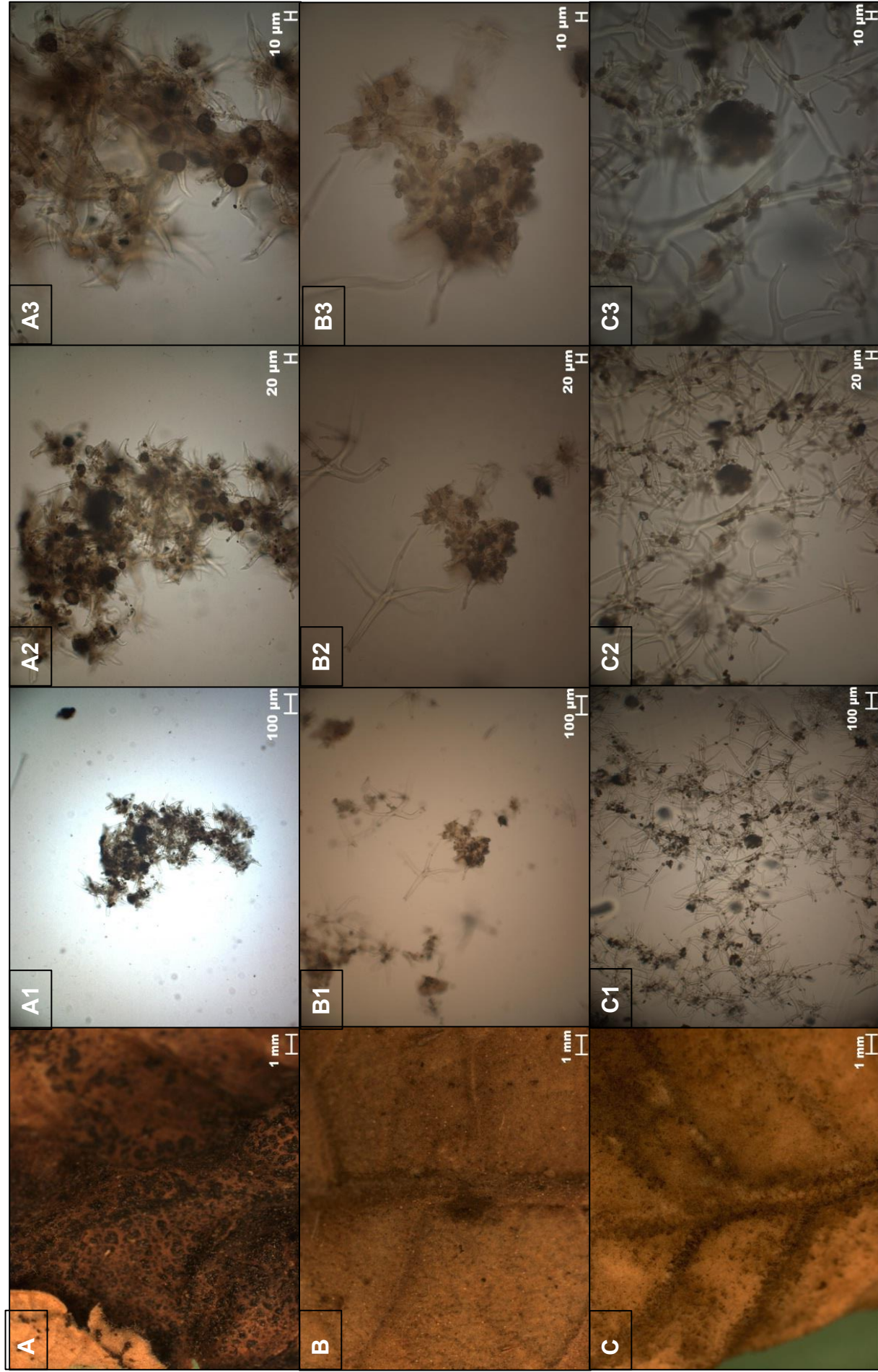


Figura 16. Aspecto de la superficie de hojas de *Buddleja cordata* en microscopía estereoscópica (izquierda) y acercamiento en microscopía óptica campo claro (central y derecha) de individuos del Geopedregal. A, A1-3) Haz (T-011 febrero). B, B1-3) Envés (T-012 abril). C, C1-3) Envés (T-013 junio)

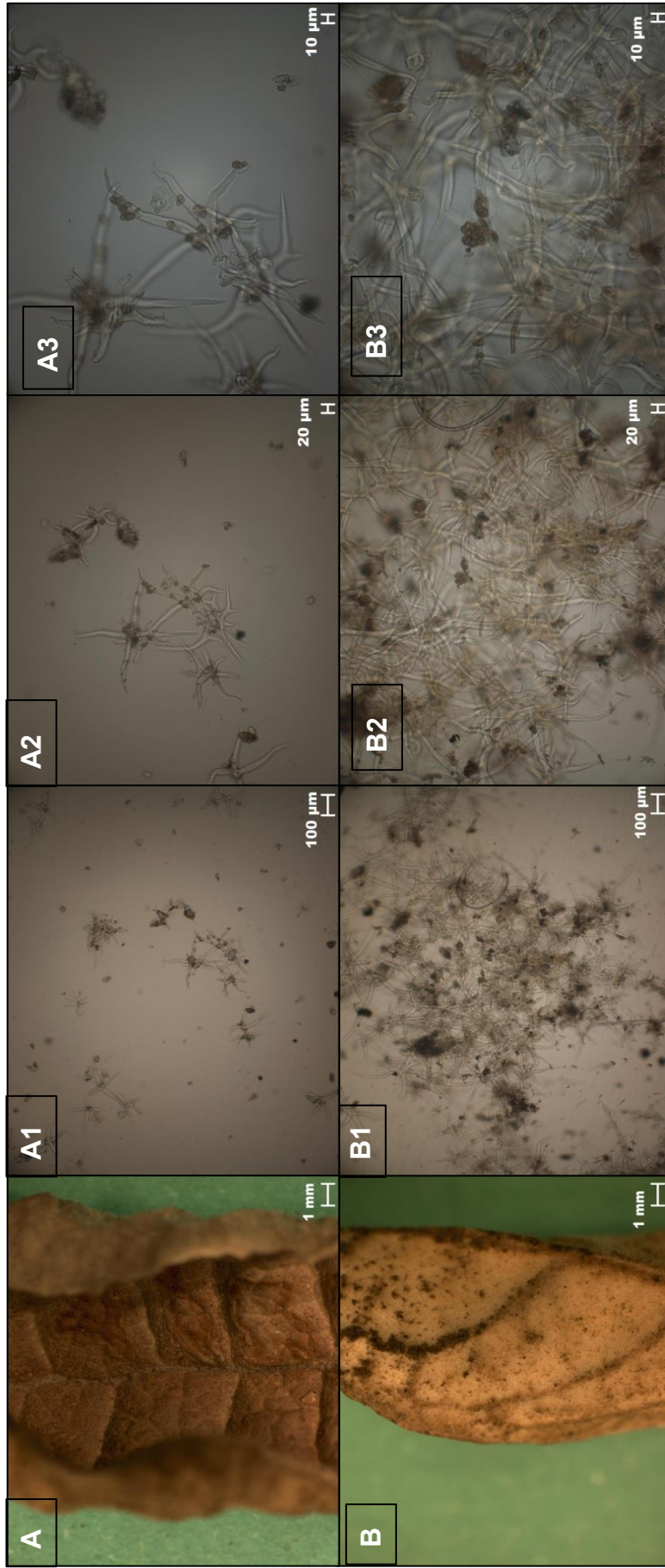


Figura 17. Aspecto de la superficie de hojas de *Buddleja cordata* en microscopía estereoscópica (izquierda) y acercamiento en microscopía óptica campo claro (central y derecha) de individuos del Geopedregal. A, A1-3) Haz (T-018 junio). B, B1-3) Envés (T-021 abril).

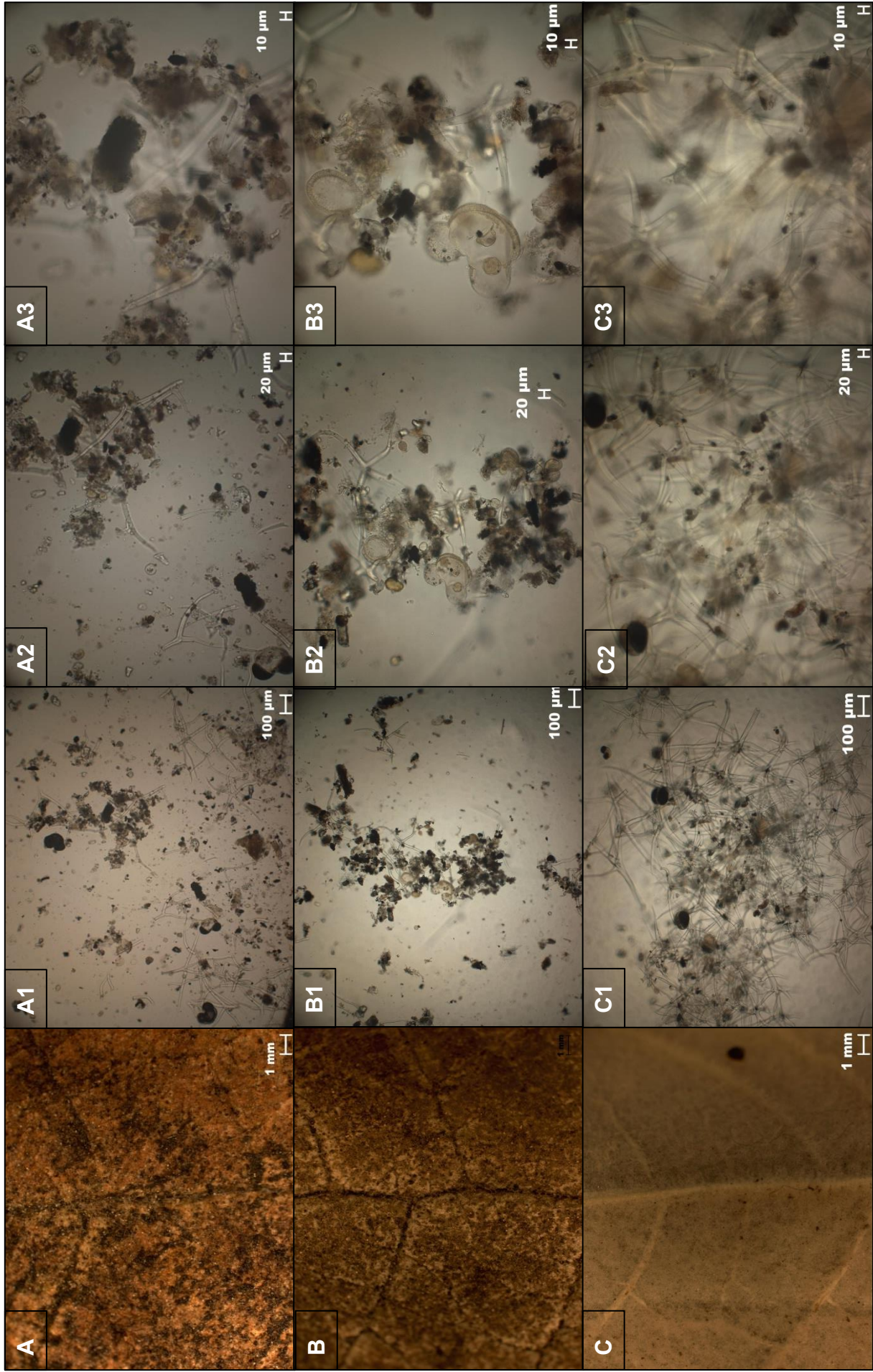


Figura 18. Aspecto de la superficie de hojas de *Buddleja cordata* en microscopio estereoscópico (izquierda) y acercamiento (derecha y central) en microscopía óptica (campo claro) de individuos cercanos a la Av. Insurgentes Sur. A, A1-3) Haz (04 abril). B, B1-3) Haz (02-abril). C, C1-3) Envés (01 abril).

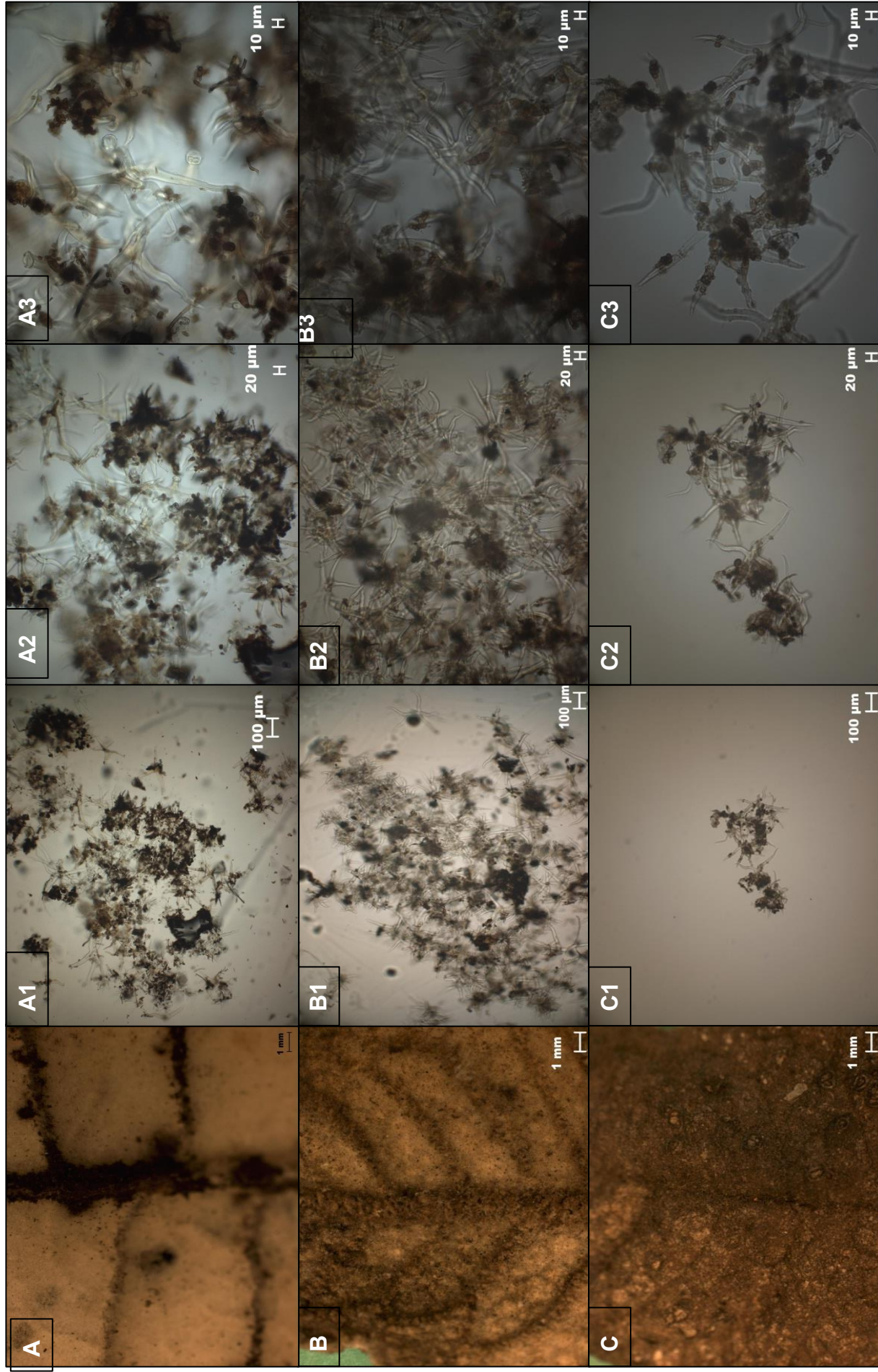


Figura 19. Aspecto de la superficie de hojas de *Buddleja cordata* en microscopio estereoscópico (izquierda) y acercamiento (derecha y central) en microscopía óptica (campo claro) de individuos del Sendero Ecológico. A, A1-3) Envés (02 agosto). B, B1-3) Envés (04 agosto). C, C1-3) Haz (04 agosto).

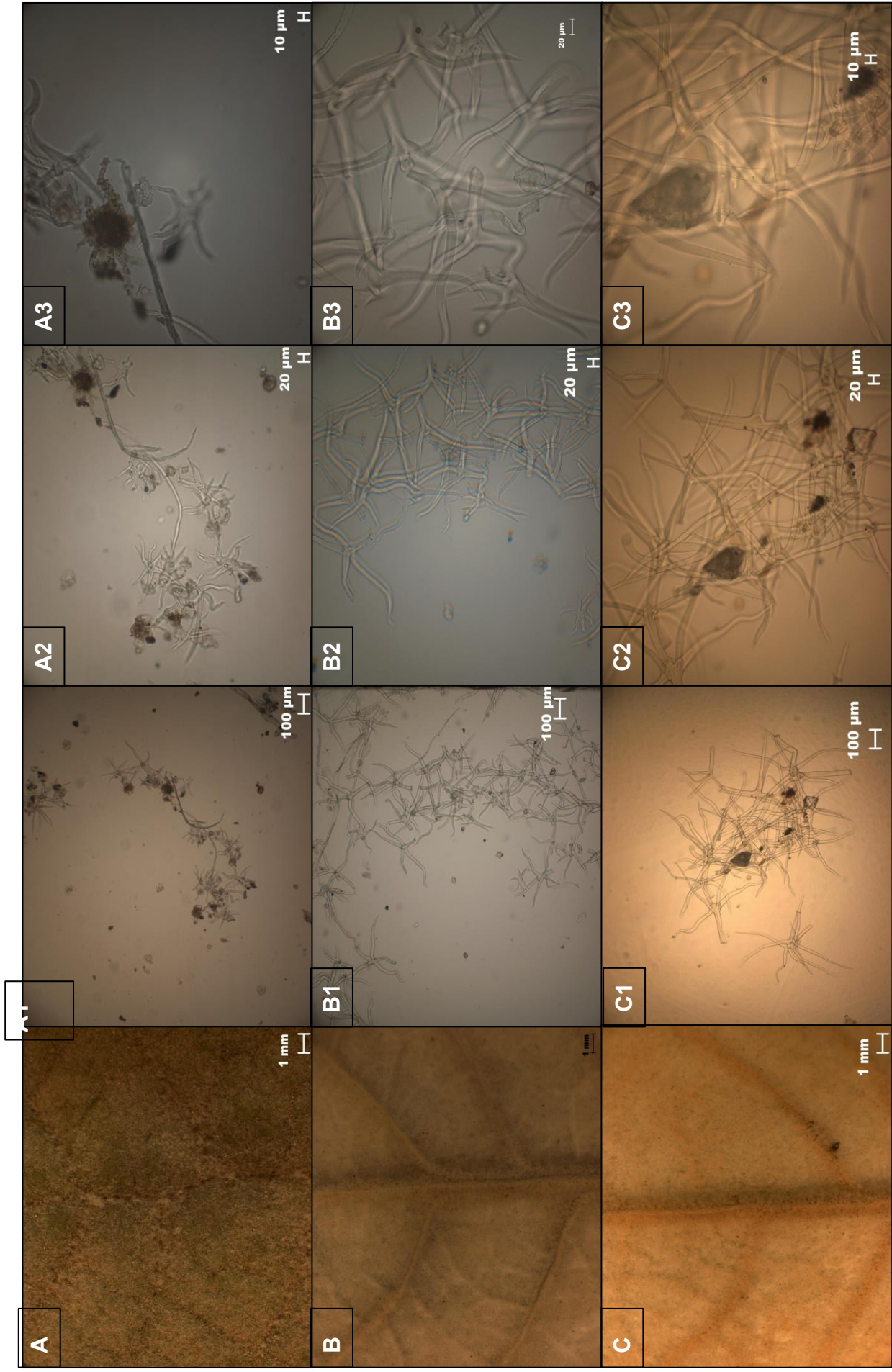


Figura 20. Aspecto de la superficie de hojas de *Buddleja cordata* en microscopio estereoscópico (izquierda) y acercamiento (derecha y central) en microscopía óptica (campo claro) de individuos de la Reserva Ecológica. A, A1-3) Haz (01 abril). B, B1-3) Envés (01 abril), C, C1-3) Envés (04 abril).

10.4 Cuantificación de contaminantes retenidos en hojas de *Buddleja cordata*

El contenido total de 27 elementos retenidos en hojas de *Buddleja cordata* recolectadas en el mes de abril del 2014 para las distintas zonas ya descritas dentro de Ciudad Universitaria se presentan en el Anexo 5. Se seleccionaron los elementos donde había datos para los sitios por arriba del LD (nivel de detección) y también los que son importantes en las emisiones vehiculares. Las cuantificaciones de As, Be, Cd, Co, Mo, Sb, Sn y Tl estuvieron por debajo del LD; las concentraciones de Ca, K, Mg se consideran como nutrientes vegetales; el Li, Sr y Ti están menos relacionados con las emisiones. El Fe tiene un aporte edáfico a diferencia del Mn y Na cuyos aportes geogénicos pueden estar involucrados con las emisiones. Se elaboraron gráficas de algunos de los elementos que presentaron concentraciones estadísticamente significativas entre los árboles de los distintos sitios (figuras 21 y 22). Las concentraciones promedio de varios árboles por sitio se muestran en el cuadro 6. Debido a que las hojas de los individuos del sendero ecológico se recolectaron en el mes de agosto y de igual forma existen datos del Geopedregal para el mes de noviembre y los datos de las cuantificaciones presentados en las gráficas y cuadros son del mes de abril, no se consideraron para las comparaciones pero se presentan en los anexos. Se observó que las concentraciones menores de los elementos seleccionados se presentaron en la Zona Núcleo poniente de la REPSA (zona conservada), las concentraciones medias se dieron en el Geopedregal (zona semi-conservada) y las concentraciones más altas se encontraron en la zona inmediata a Insurgentes (zona de influencia directa).

Con los estadísticos obtenidos se determinó que las concentraciones entre sitios difieren dependiendo el elemento del que se trate: para Al, Pb y Se los tres sitios fueron significativamente diferentes; para Ba y V Geopedregal e Insurgentes fueron significativamente diferentes a la Reserva, siendo la concentración menor

en esta última; para Cu, Na, Ni y Zn, la Reserva y el Geopedregal fueron significativamente diferentes a Insurgentes, donde la mayor concentración se observó en Insurgentes; para el Cr, sólo la Reserva difirió de Insurgentes y las concentraciones foliares observadas en el Geopedregal fueron intermedias entre ambos sitios; el Hg es el único valor en donde la Reserva e Insurgentes tuvieron similitud en su concentración con diferencia significativa con el Geopedregal. El Mn es el único en el que las concentraciones en los tres sitios fueron estadísticamente similares.

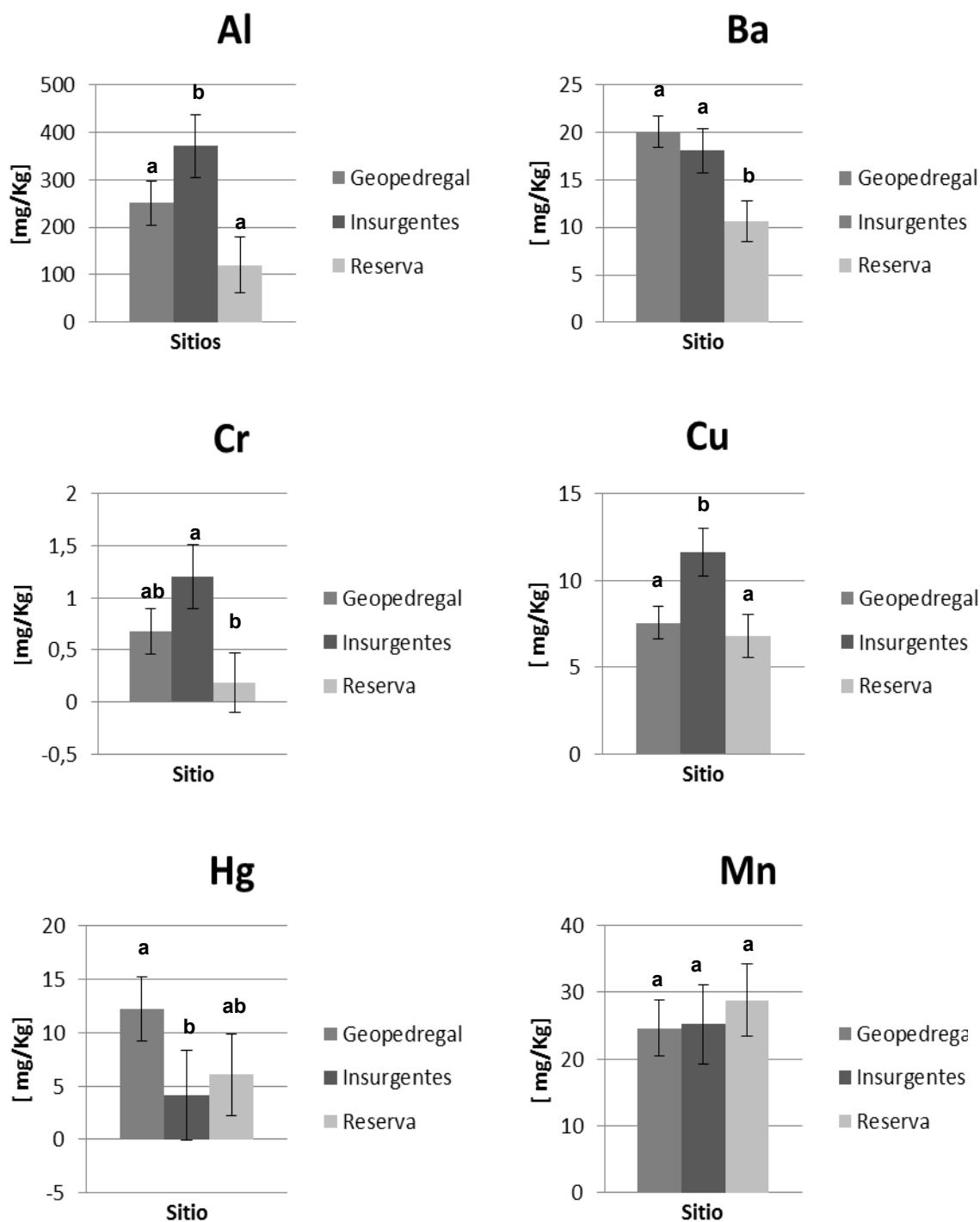


Figura 21. Concentración promedio de contaminantes en hojas de *Buddleja cordata* del mes de abril del 2014 en tres distintos sitios dentro de la Ciudad Universitaria de la UNAM (México, D. F.). Reserva Ecológica (Zona Núcleo Poniente); Geopedregal sujeto a restauración ecológica dentro de CU; sitio cercano a la Av. Insurgentes Sur (paralelo a la zona de amortiguamiento A7). Las barras representan intervalos basados en la diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Letras diferentes tienen concentraciones estadísticamente distintas ($p < 0.05$).

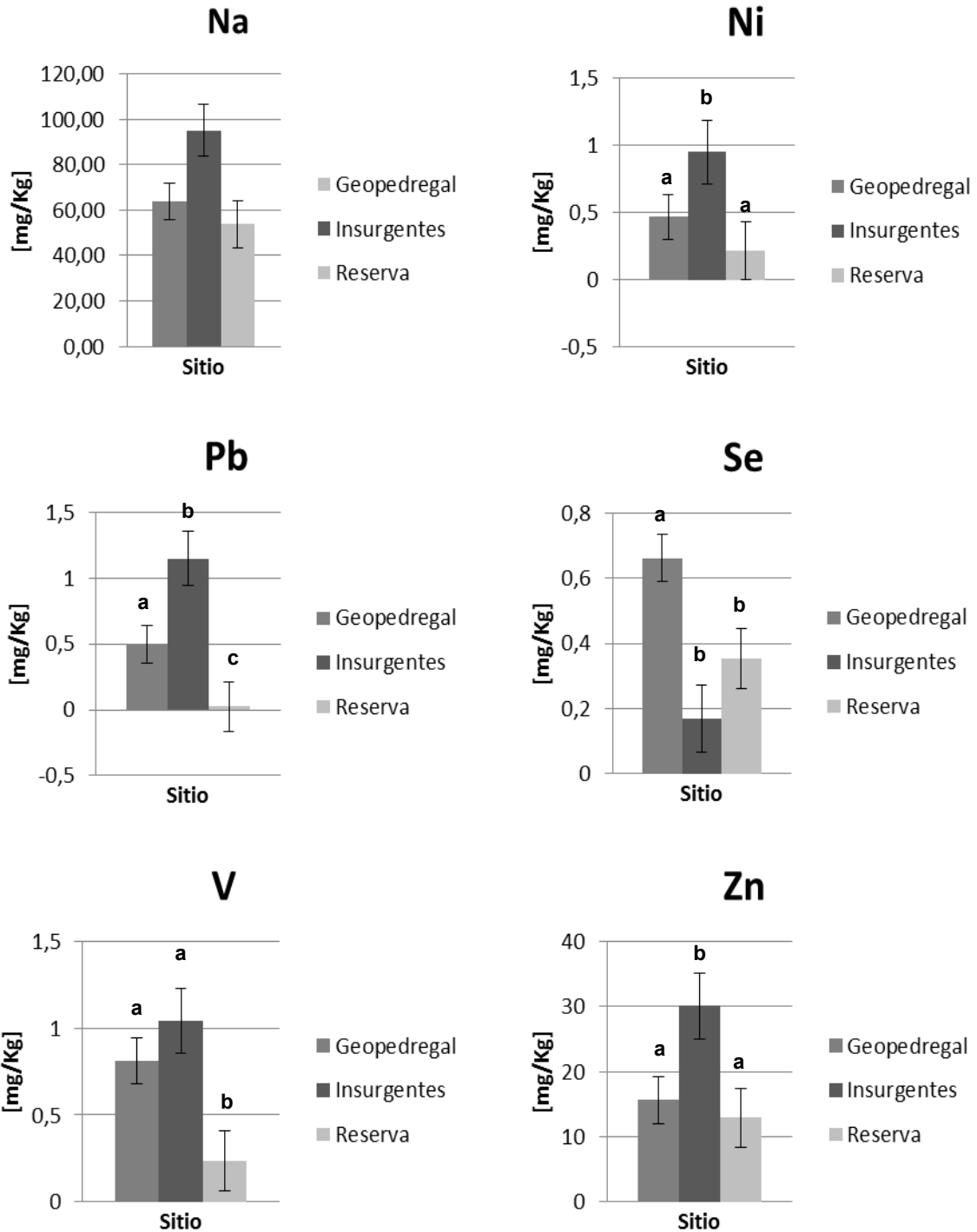


Figura 22. Concentración promedio de contaminantes en hojas de *Buddleja cordata* del mes de abril del 2014 en tres distintos sitios dentro de la Ciudad Universitaria de la UNAM (México, D. F.). Reserva Ecológica (Zona Núcleo Poniente); Geopedregal sujeto a restauración ecológica dentro de CU; sitio cercano a la Av. Insurgentes Sur (paralelo a la zona de amortiguamiento A7). Las barras representan intervalos basados en la diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Letras diferentes tienen concentraciones estadísticamente distintas ($p < 0.05$).

Cuadro 6. Concentraciones (mg/Kg \pm error estándar) de contaminantes elementales en hojas de *Buddleja cordata* del mes de abril del 2014 en tres distintos sitios dentro de la Ciudad Universitaria de la UNAM (México, D. F.), concentraciones generalizadas (mg/Kg) para hojas maduras para distintas especies (Kabata-Pendias, 2011). Geopedregal: pedregal sujeto a restauración ecológica dentro de CU; Insurgentes: sitio cercano a la Av. Insurgentes Sur (paralelo a la zona de amortiguamiento A7); Reserva Ecológica (Zona Núcleo Poniente). En negritas se presentan las concentraciones mayores por elemento.

	Geopedregal	Insurgentes	Reserva	Concentraciones normales	Concentraciones tóxicas
Al	251.01 \pm 29.57	370.50 \pm 41.21	120.10 \pm 13.61		
Ba	20.05 \pm 1.01	18.07 \pm 1.16	10.63 \pm 1.03		500
Cr	0.67 \pm 0.15	1.20 \pm 0.13	0.19 \pm 0.06	0.1 – 0.5	5 – 30
Cu	7.57 \pm 0.53	11.61 \pm 0.98	6.80 \pm 0.47	5 - 30	20 – 100
Hg	12.20 \pm 2.17	4.16 \pm 1.20	6.07 \pm 1.05		1 – 3
Mn	24.62 \pm 2.83	25.24 \pm 2.30	28.84 \pm 2.21	30 - 300	400 – 1000
Na	63.88 \pm 3.01	94.95 \pm 7.69	53.77 \pm 2.87		
Ni	0.47 \pm 0.11	0.95 \pm 0.10	0.21 \pm 0.07	0.1 - 5	10 – 100
Pb	0.50 \pm 0.09	1.15 \pm 0.14	0.02 \pm 0.01	5 - 10	30 – 300
Se	0.66 \pm 0.05	0.17 \pm 0.04	0.35 \pm 0.03	0.01 - 2	5 – 30
V	0.81 \pm 0.10	1.04 \pm 0.07	0.23 \pm 0.04	27 - 150	5 – 10
Zn	15.60 \pm 1.96	30.10 \pm 4.08	12.90 \pm 0.70		100 – 400

El análisis de correlaciones de Pearson (Cuadro 7) mostró que el Al está íntimamente relacionado con el Ni, Pb y V y en menor proporción relacionado negativamente con el Se. Igualmente, el Cr estuvo relacionado muy significativamente con Ni, Pb y V y negativamente con el Hg y Se. El Se estuvo relacionado negativamente con Cu, Ni y Pb. Para los árboles en el Geopedregal se calculó el aproximado de captura de contaminantes anualmente por categoría de área cobertura en función de la biomasa foliar cuantificada en el periodo de muestreo (Cuadro 8).

Cuadro 7. Matriz de correlaciones de Pearson para algunos de los contaminantes elementales determinados en el mes de abril del 2014 en *Buddleja cordata* en distintos sitios de la Ciudad Universitaria de la UNAM (México D. F.). Se muestran en negritas las correlaciones significativas ($p < 0.05$).

	Al	Ba	Cr	Cu	Hg	Mn	Na	Ni	Pb	Se	V	Zn
Al												
Ba	0.54											
Cr	0.94	0.57										
Cu	0.46	0.27	0.47									
Hg	-0.33	0.08	-0.41	-0.30								
Mn	-0.13	0.04	0.05	-0.01	-0.19							
Na	0.74	0.19	0.66	0.52	-0.17	-0.28						
Ni	0.91	0.49	0.98	0.48	-0.46	0.15	0.66					
Pb	0.92	0.56	0.88	0.61	-0.30	-0.06	0.76	0.87				
Se	-0.42	0.33	-0.43	-0.42	0.67	-0.12	-0.54	-0.52	-0.45			
V	0.91	0.72	0.90	0.41	-0.20	-0.04	0.56	0.84	0.89	-0.21		
Zn	0.57	0.32	0.68	0.65	-0.45	0.32	0.42	0.69	0.69	-0.51	0.60	

Cuadro 8. Estimación de captura de contaminantes retenidos (mg/año) en la biomasa foliar anual (once individuos) por categoría de área de cobertura en *Buddleja cordata* en un pedregal en restauración (Geopedregal) dentro de la Ciudad Universitaria, UNAM. Categoría 1 = <15 m²; categoría 2= 15-30 m²; categoría 3= >30 m².

	Captura total	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3
Al	24850	2839	7593	14418
Ba	1984	227	606	1152
Cr	66	8	20	38
Cu	750	86	229	435
Hg	1208	138	369	701
Mn	2437	278	745	1414
Na	6323	722	1932	3669
Ni	46	5	14	27
Pb	50	6	15	29
Se	65	8	20	38
V	79	9	24	46
Zn	1544	176	472	896

XI. DISCUSIÓN

11.1 Producción de biomasa aérea decidua y captura de carbono

Las especies arbóreas del pedregal, a pesar de que se les adjudica baja importancia fisionómica por su baja densidad (Rzedowski y Rzedowsky, 1979), representan un importante almacén de carbono ya que en ellas se acumula el 53.3% de la biomasa en tejidos aéreos no foliares durante la temporada secas (Cano-Santana, 1994b). Las especies que tuvieron una mayor contribución a la productividad de tallos del estrato arbóreo fueron *Buddleja cordata* y *Dodonaea viscosa*, que juntas aportan entre el 80.0 y el 84.2 % de la PPNA en términos de energía. El tepozán es una de las trece especies, incluyendo especies invasoras del estrato arbóreo de este matorral xerofítico (*Buddleja cordata*, *B. parviflora*, *Bursera cuneata*, *Dodonaea viscosa*, *Eucalyptus resinifera*, *E. globulus*, *Eysenhardtia polystachya*, *Fraxinus udehi*, *Pittocaulon praecox*, *Quercus deserticola*, *Schinus molle*, *Senna septemtrionalis* y *Tecoma stans*) (Castillo-Argüero *et al.*, 2007). Para abril de 1990, Cano-Santana (1994b) estimó que *B. cordata* representó el 37% de la contribución de biomasa total siendo la especie con mayor valor de importancia. También este autor encontró que la biomasa del estrato arbóreo variaba significativamente entre sitios abruptos y planos, siendo mayor en los sitios abruptos que en los planos donde el tepozán contribuyó con el 79 y 62% en el estrato arbóreo respectivamente. Los árboles de *B. cordata* en los sitios planos fueron de menor talla que los de los sitios abruptos. En los sitios abruptos *B. cordata* aportó del 66.1 al 69.3% de la PPNA en el estrato arbóreo. En los sitios planos la dominancia de *B. cordata* fue menor, y en consecuencia, aportó del 42.0 al 56.1%. Aunque el incremento en biomasa de un año a otro no fue significativo para especies de este estrato ni entre sitios, el tepozán contribuyó sin hojas con 148.7 a 470 gm² de biomasa y su producción primaria neta aérea (PPNA) fue de 69.1 g m² año⁻¹, dato que abarca toda o la mayoría de la superficie de la REPSA. En comparación con lo anterior, *B. cordata* en el Geopedregal,

contribuyó aproximadamente con $73.7 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ con respecto a la PPNA en la BD. De acuerdo con los datos obtenidos, en el Geopedregal, el tepozán contribuye con $4.6 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ más que en la REPSA en la PPNA reportada anteriormente por Cano-Santana (1994b). Valladares-Samperio (en proceso) estimó una biomasa promedio para esta especie en el Geopedregal de 43.5 Kg para la planta completa (fuste, tallos, hojas, estructuras reproductivas y raíces) y en este estudio se estimó un promedio de 9 Kg solamente para las hojas, flores y tallos de estas estructuras. Esto correspondería aproximadamente al 21 %. Comparando los datos de PPNA de la especie de estudio antes mencionados con datos del matorral xerófilo de la REPSA proporcionados por Cano-Santana (1994b), *B. cordata* tiene una PPNA relativamente significativa relacionándola con el número de especies vegetales (350 aproximadamente) presentes en dicho ecosistema, genera de $517 \text{ a } 718 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$, lo que correspondería aproximadamente al 11 % del total de la PPNA del ecosistema presente en la REPSA. Tomando en cuenta lo diverso de las especies vegetales en este ecosistema, el aporte de esta especie es considerablemente valioso. El matorral xerófilo de la REPSA es uno de los más productivos en cuanto a PPNA comparado a los ecosistemas áridos y semi-áridos en el mundo (Cano-Santana, 1994b). Otros ecosistemas áridos y semi-áridos como chaparrales en California, aportan de $671 \text{ a } 850 \text{ gm}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (Schlesinger y Gil, 1980; Mooney *et al.*, 1977); el matorral de *Erica* sp. en Holanda tiene una productividad de $376 \text{ gm}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (Aerts y Berendese, 1989) o los matorrales en Arizona con $92\text{-}186 \text{ gm}^{-2} \text{ año}^{-1}$ de PPNA (Whittaker y Niering, 1975). Con esto se destaca que la aportación de material orgánico, pero sobre todo la captura de carbono que se da en el matorral xerófilo del Pedregal de San Ángel, es elevado y puede contribuir a mejorar la calidad ambiental del sur de la Ciudad de México.

De manera complementaria se cuantificó mensualmente la biomasa decidua foliar (BDF) producida durante un año, a diferencia de lo realizado por Cano-Santana (1994b). La BD se incrementó en el periodo de secas que es cuando ocurre la mayor aportación de materia orgánica en este ecosistema (Cano-Santana, 1994a). La menor recuperación de BD se dio en el mes de mayo, previo al inicio de las lluvias y ya para el mes de agosto y septiembre, nuevamente

se tuvieron los menores aportes de BD cuando los árboles presentaban un mayor volumen de follaje nuevo en respuesta a la precipitación. Mendoza-Hernández (2002) indicó que *B. cordata* aporta mayor producción de biomasa a sus raíces en temporadas secas y/o desfavorables (frío, calor, incidencia solar intensa, etc.), lo cual explica que la pérdida de biomasa aérea ya que responde a la aportación de energía a sus estructuras radicales por la muerte del ápice y la activación de yemas laterales como mecanismo de re-asignación de energía a la parte subterránea.

Por su parte, Nahed y col. (1998) calcularon para la especie de estudio en la zona montañosa del estado de Chiapas, una producción de biomasa foliar de 5.9 Kg en el periodo de noviembre a diciembre de 1995, el cual no es un valor alejado de la producción promedio de la BD para los individuos del Geopedregal que fue de 8 Kg año⁻¹. Las estimaciones calculadas por este autor corresponden a medidas indirectas de producción de materia orgánica en otro ecosistema, destacando que en este estudio, la cuantificación fue resultado del aporte de cada árbol medido a través de un sistema de captura de BD que cubría la totalidad de la cobertura foliar de cada individuo, minimizando la pérdida de material y de esta manera realizando la cuantificación de manera precisa y puntual

Se observó que entre las categorías hubo diferencias altamente significativas en la producción de BD. Mendoza-Hernández (2002) estimó para esta especie una tasa de crecimiento numérica elevada en relación al crecimiento arbóreo en otros ecosistemas lo que indica que en la mayoría de los pedregales remanentes de la C. U., el incremento poblacional y la probabilidad de que el tepozán llegue a estados adultos en pocos años es muy alta. Esto se evidencia en la misma zona de restauración donde cada año se observa el reclutamiento de individuos germinados *in situ* que logran superar rápidamente tallas mayores a los 30 cm en un solo ciclo. La supervivencia de los juveniles es alta al menos en esta zona. Las diferencias más significativas se observaron entre los arboles “maduros” pertenecientes a la categoría 3 en comparación de las categorías de “juveniles” pertenecientes a la categoría 1 y “medianos” pertenecientes a la categoría 2

(figuras 10 y 11). Considerando las tasas de incremento de la biomasa leñosa en los árboles, en las especies sucesionalmente más tardías, se encontró que esta biomasa en el estrato arbóreo se duplicaría en 8.5 años en los sitios abruptos y en 9.6 años en los sitios planos, lo cual resulta sorprendente, por lo que parece improbable que esta tasa se pueda mantener indefinidamente. Debido a la perturbación antropogénica, si no existen las condiciones de manejo adecuadas de la REPSA, hará que la fenología de la vegetación sustituya al matorral de *Senecio* por un paisaje donde predomine el tepozán. De hecho, los autores le otorgan el más alto valor de importancia ecológica en la REPSA lo cual significa que la presencia de esta especie tiende a proveer de materia orgánica al suelo, brindar servicios ecosistémicos al ambiente y proporcionar sombra a distintas especies para asegurar su supervivencia.

Conforme al cálculo de C a través de su contenido estimado en la BD como lo reporta Jenkins y col. (2011) se observó que *B. cordata* aportó 49.5 kg anuales de C capturado. Jenkins y col. (2011) estimaron que el contenido de carbono vegetal en la biomasa seca es del 50 %. Otros autores encontraron que dependiendo el estrato de la comunidad vegetal, este contenido puede variar entre 46 y 53 % (Montero *et al.*, 2013). Para especies arbóreas, Slijepcevic (2001) encontró que para *Eucalyptus obliqua* el contenido de C fue del 52%. En el caso de *B. cordata* no se ha reportado una estimación de C contenido en su biomasa; Nahed y col. (1998) sólo cuantificaron el contenido de materia seca y de proteína cruda en su biomasa. Pero de acuerdo con lo reportado por Brown y col. (2003) su ecuación pudiera ser la más acertada dado que está adecuada para vegetación secundaria donde el estrato arbóreo es menor al igual que en el matorral xerófilo de la REPSA.

11.2 Partículas adheridas a las superficies foliares en *Buddleja cordata*

La principal partícula adherida a las superficies foliares de *B. cordata* correspondió a un hongo del género *Alternaria* que se encontró en abundancia a través del análisis de imágenes. Este género produce conidios largos y café con septos longitudinales y transversales y con un estrechamiento cónico en el extremo apical, los hongos incluidos en esta familia se caracterizan por tener hifas y conidios de color oscuro sin que se formen en cuerpos fructíferos o esporocarpos complejos. *Alternaria* presenta una distribución mundial y se considera que es un hongo de espacios abiertos; varias de las especies son saprobias comunes en restos de plantas o en plantas moribundas, en madera podrida de árboles de encino, cedros y pinos, donde desarrollan abundantes conidios que el viento disemina fácilmente creciendo en temperaturas óptimas entre 25 y 28 °C (Herrera, 2005; Rocha *et al.*, 2013). Los conidios de estos hongos son de los más abundantes en los polvos caseros en lugares con humedad como los marcos de las ventanas en las que se produce condensación y constituyen una de las principales causas de alergias respiratorias en humanos; frecuentes en contaminaciones de laboratorios donde ocasionan problemas en cultivos de otros microorganismos.

La presencia de esta especie en la filosfera de *B. cordata* se justifica dado el hecho de que está presente en la atmosfera casi todas las semanas del año siendo abundantes en los meses de Septiembre y Octubre de manera particular en regiones templadas (González y Candau, 1994). Un estudio de caso en la Ciudad de Monterrey, México (Rocha *et al.*, 2013) mostró que del total de esporas registradas en el aire el 6% del total de esporas pertenecían a *Alternaria*.

Se observó que en ambas superficies foliares (haz y envés), la presencia de los organismos fúngicos fue distinta, siendo mayor en el envés, atribuyendo esto a la abundancia de pelos estrellados en este lado de la hoja (Rzedowski y

Rzedowski, 2001) lo cual permite tener una mayor superficie de contacto para la adhesión de dichos organismos.

Solamente fue posible documentar a estos microorganismos; debido a que el tamaño de partícula (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en que los contaminantes se emiten a la atmosfera y se depositan en distintas superficies como suelo, plantas y agua, no se lograron observar con el método utilizado. Partículas de estos diámetros requieren métodos más precisos y complejos para poder ser visualizadas (p. e. microscopía electrónica de barrido) y evaluadas (Campos *et al.*, 2006) y así determinar la presencia de partículas de partículas sólidas en la atmosfera y caracterizarlos de acuerdo a su morfología.

11.3 Cuantificación de contaminantes elementales retenidos en hojas de *Buddleja cordata*.

Las concentraciones de algunos de los contaminantes que pueden adjudicarse a las emisiones vehiculares (Ba, Cr, Cu, Hg, Mn, Na, Ni, Pb, Se, V y Zn) fueron significativamente distintas entre sitios expuestos lo que permitió diagnosticar que los árboles de *B. cordata* en el Geopedregal y en la zona aledaña a Insurgentes, están capturando y/o reteniendo estos elementos debido a su ubicación inmediata con el tráfico vehicular. Aún con ello, sólo para dos elementos cuantificados, Cr y Hg, las concentraciones en los tres sitios se encuentran en los niveles de toxicidad vegetal pudiendo en algún momento, presentar daños en la fisiología de la planta. El Hg fue un elemento que se encontró en mayor concentración en el Geopedregal, a diferencia de los otros dos sitios y según lo reportado por Bargagli (1998), entre el 80 y 90 % de este elemento se libera durante la combustión de carbón y pasa directamente al aire. De acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas y de las condiciones de combustión, éste puede estar asociado con la fracción sólida particulada. Lo anteriormente se justifica ya que a un costado del Geopedregal existe un incinerador perteneciente a la Facultad de

Medicina Veterinaria y Zootecnia que arroja sus emisiones del lado Norponiente del sitio. Las concentraciones de ambos elementos probablemente puedan causar daños en los mecanismos de defensa o la aceleración de la degradación foliar se pudieran ver afectados y de ahí que la susceptibilidad a ser invadidos por hongos como los documentados en las superficies sea mayor. Al respecto, sería conveniente hacer más estudios con una muestra poblacional mayor en suelo y distintos tejidos, así como en varias especies para poder determinar si estos dos elementos están siendo incorporados al ecosistema y los daños que puedan tener.

Celik y col. (2005) encontraron que los niveles más altos de Pb y Cu en suelos ubicados a un costado de caminos urbanos están asociados con el tránsito vehicular. Los autores también analizaron que el grado de concentración de metales pesados en la vegetación (*Robinio pseudo-acacia* L.) es proporcional a la urbanización, siendo la razón principal de las altas concentraciones de las plantas localizadas en caminos urbanos, la densidad del tráfico. Así mismo, los niveles más altos de Mn fueron registrados en sitios industriales seguidos por los sitios urbanos y suburbanos, esto concordando con lo reportado por Bargagli (1998), mencionando que este elemento es un sustituto del plomo en los combustibles como antidetonante explicándose el por qué se encontraron concentraciones elevadas en este estudio. Por otra parte, Bargagli (1998) reportó la presencia de Ca y Mg que son componentes de los aditivos agregados al aceite de motor y como dato importante mencionó que la contaminación por Pb continúa siendo indicadora de los caminos con alto tráfico. Las concentraciones obtenidas para *B. cordata* en los tres sitios están en el rango de lo esperado para Cu como micronutriente y para el Mn, no alcanzan en ningún sitio las concentraciones esperadas en los límites de lo normal dadas por Kabata-Pendias (2011). Curiosamente tampoco para el Pb que aún cuando las gasolinas mexicanas se encuentran libres de tal elemento, su acumulación y translocación en el ecosistema podría verse todavía aún pasados los años. Estudios en suelo y en otras especies podrían confirmar si se debe a una baja traslocación o baja acumulación.

Monaci y col. (2000) encontraron concentraciones similares a las halladas en este estudio de algunos elementos en partículas adheridas a *Quercus ilex* en Florencia, Italia. Encontraron que el Ba y el Zn, fueron dos elementos que permitieron rastrear mejor la contaminación por emisiones vehiculares más que el Pb, Mn, Fe, Cu, Cd que fueron ligeramente mayores en sitios afectados por el tráfico vehicular en PM₁₀. Otros elementos como el V, Ni y Al se encontraron en concentraciones menores en sitios no perturbados (partículas en el aire). Aunque las hojas están expuestas a partículas de todos tamaños, la falta de correlación entre metales emitidos por vehículos y algunos contaminantes (como el Al principalmente asociado a partículas gruesas), indica que las hojas principalmente retienen partículas finas (Monaci *et al.*, 2000). Las concentraciones encontradas en el tepozán para Ba estuvieron lejos de aquellas en donde se pueden causar daños a las plantas y para el caso del Zn, también como micronutriente, se podrían considerar en los límites esperados siendo sin embargo, casi lo doble para el Geopedregal que en los demás sitios. Aún con ello, ni el V ni el Ni estuvieron en concentraciones siquiera cercanas a los límites superiores encontrados como comunes en los tres sitios. Cabe destacar que el efecto de ubicación, a pesar de que las concentraciones sean pequeñas, es notorio en algunos casos por lo que un estudio en otras especies sería muy útil para determinar si la absorción vegetal por aire o suelo es mayor y por ende, determinar si estos contaminantes pudieran tener un impacto o acumulación en el ecosistema.

Ball y col. (1991) encontraron que el desgaste de los neumáticos es una importante fuente de Ba y Zn y que los frenos de los automóviles en circulación pueden llegar a liberar, así mismo partículas de Cu y Mn. A su vez, Bargagli (1998) basado en estudios de biomonitorio en ambientes urbanos con líquenes y hojas de roble, cuantificó trazas de Ba provenientes de tubos de escape de los vehículos que utilizan diésel con y sin plomo. En la circulación del tránsito universitario, se puede adjudicar al transporte oficial (pumabús) la utilización de gasolina diésel que circula regularmente por las vialidades dentro de la C. U. (el caso del Geopedregal). Sin embargo, el tipo de transportes que circulan al lado de Insurgentes, es muy diverso y mucho más regular que en la vialidad interna de la

C. U. Las concentraciones más elevadas de Al, Cr, Cu, Ni, Pb, V y Zn se presentaron en mayor proporción en el sitio de Insurgentes, atribuyéndose esto a que es una vía primaria de circulación en comparación a lo encontrado para los árboles muestreados en la REPSA. A pesar de que los tres sitios de estudio están influenciados por su ubicación dentro de la Ciudad de México y por su cercanía entre ellos, se puede ver que a sólo 400 m de distancia existente entre la avenida Insurgentes y los árboles en la zona núcleo, se presentan diferencias significativas en la captación de contaminantes como lo constatan varios autores (Monaci *et al.*, 2000; Fernández-Espinosa y Rossini-Oliva, 2006; Al-Khlaifat *et al.*, 2007; Khan *et al.*, 2011).

Al respecto, para el área metropolitana, Guzmán (2010) analizó las concentraciones de algunos elementos foliares en hojas sin lavar de *Ficus benjamina* ubicados en varios puntos de la Ciudad de México. El autor reportó concentraciones muy similares de Cr (1.13 mg kg⁻¹, 1.20 mg kg⁻¹ en este estudio); de Cu (5.7 mg kg⁻¹ y en este estudio 6.8 mg kg⁻¹ como valor más bajo en la REPSA); de Ni (1.08 mg kg⁻¹ y como valor más alto 0.95 mg kg⁻¹ en Insurgentes); de Pb (2.7 mg kg⁻¹ vs. 1.15 mg kg⁻¹ en Insurgentes); de V (0.87 mg kg⁻¹ 0.81 en el Geopedregal en este estudio) y Zinc (12.2 mg kg⁻¹ vs. en este estudio en la REPSA con 12.9 mg kg⁻¹). Estas lecturas correspondieron a determinaciones hechas entre abril y mayo del año 2008 siendo muy similares a las reportadas aquí, aumentando ligeramente para el Cu y disminuyendo para el Pb. El Cu como se mencionó, como micronutriente puede tener diferencias en la absorción en las distintas plantas, en tanto que con el Pb la retención se reduce casi a la mitad siendo las emisiones vehiculares su principal aporte de acuerdo a Monaci y col. (2000), Fernández-Espinosa y Rossini-Oliva (2006) y Fantozzi y col. (2013). En zonas urbanas en donde no existen desde hace ya varias décadas combustibles con Pb, los autores determinaron su presencia en años recientes lo que se explica como efecto residual antes de la prohibición de uso de combustibles con tetraetilplomo.

Por lo antes mencionado, aunado con el análisis de correlaciones de Pearson, se observó que los elementos que tuvieron una mayor correlación significativa fueron el Cr y el Ni (0.98) lo que indicó que comparten la misma fuente de emisión. Winther y col (2010) argumentan que el origen de estos elementos hacia el ambiente proviene del desgaste del pavimento, emitiendo el 12% para el Cr y el 11% para el Ni del total de los cuantificados hacia la atmósfera. La mayor concentración de estos metales se encontró en el sitio de Insurgentes, que es una avenida de alta velocidad donde la erosión del pavimento es diaria y a toda hora. El Pb se correlacionó con el Al, Cr, Ni y V, también elementos que tuvieron una mayor concentración en el sitio de Insurgentes y su origen de emisión proviene de la misma fuente, de los vehículos automotores. El Al se asoció con el Cr, Ni, Pb y V. Huang y col. (1994) en su estudio de las emisiones de los automóviles, encontraron que existen grandes emisiones de Al en los autos con convertidores catalíticos y mencionaron como posible origen el sustrato de soporte (γ -Al₂O₃) de los convertidores catalíticos modernos ya que las emisiones eran menores en vehículos de modelos más antiguos. La correlación significativamente positiva entre Ni y V se puede atribuir a elementos provenientes principalmente de emisiones de combustibles fósiles (Lee *et al.*, 1994).

Por otro lado, la cobertura arbórea de *B. cordata* permitió que la retención de contaminantes foliares fuera de hasta 24 g de Al por año en sólo la mitad de los árboles muestreados en el Geopedregal. Aún cuando esta determinación fue extrapolada con base en una sola cuantificación y aún cuando las concentraciones de cada elemento pueden variar de acuerdo a la estacionalidad, se puede inferir que el arbolado de los pedregales remanentes están capturando cantidades más significativas en su biomasa foliar de varios elementos que los que están situados en la REPSA. La densidad de los árboles también está relacionada con la retención de partículas y la estacionalidad. Nowak y col. (2006) argumentaron que los valores de los contaminantes foliares adheridos a los árboles varían en función de la cobertura de los mismos, a mayor densidad de árboles hay una mayor remoción de partículas aéreas. La densidad foliar relacionada con la época del año, también disminuye la concentración de partículas adheridas relacionadas con

la cantidad de precipitación ya que cuando ésta incrementa, se reduce la deposición. La transpiración y algunas variables meteorológicas intervienen en la cantidad de partículas que pueden ser adheridas, lo que en conjunto de todos estos factores repercute en la disminución de las partículas contaminantes.

CONCLUSIONES

- La aportación anual de biomasa decidua en once individuos de *Buddleja cordata* fue de 99 Kg año⁻¹ donde el mes de mayor producción fue diciembre que corresponde al inicio de temporada de secas y el menor de mayo (aportación promedio mensual de 8.2 kg). La captura de carbono en esta biomasa decidua total fue de 49.5 Kg·año⁻¹. Los individuos de las categorías con copa foliar menor a 30 m² contrastaron en su aporte foliar de BDF con los individuos de gran envergadura mayor a este tamaño: la captura de carbono indicó que los individuos de copa foliar menor a 15 m² capturaron dos veces menos C que los de la categoría entre 15 y 30 m². A su vez, los individuos mayores (copa >30 m²) pudieron capturar hasta 6 veces más carbono que los segundos, estimándose un total de 225 kg de biomasa decidua para todos los individuos (25) del pedregal en restauración y 73.7 gm²año⁻¹ de PPNA.
- La retención de partículas en hojas de *Buddleja cordata* analizadas en un sitio de la zona núcleo, un pedregal remanente al lado de la Av. Insurgentes y un pedregal remanente (Geopedregal) en el circuito exterior, mostraron diferencias debidas al crecimiento de hongos del género *Alternaria*. El aspecto de las hojas presentó una mayor evidencia de daño en las que fueron recolectadas en los sitios directamente expuestos al paso vehicular que aquellas recolectadas dentro de la reserva ecológica.

- Las concentraciones más elevadas de contaminantes elementales se encontraron en las hojas recolectadas en los árboles que crecieron cercanos a la Av. Insurgentes como zona más expuesta al tránsito vehicular. Las concentraciones menores de los elementos seleccionados se presentaron en la Zona Núcleo poniente de la REPSA (zona conservada) y las concentraciones medias se dieron en el Geopedregal (zona semi-conservada). Las concentraciones entre sitios difieren dependiendo el elemento del que se trate: para Al, Pb y Se los tres sitios fueron significativamente diferentes; para Ba y V Geopedregal e Insurgentes fueron significativamente diferentes a la Reserva, siendo la concentración menor en esta última; para Cu, Na, Ni y Zn, la Reserva y el Geopedregal fueron significativamente diferentes a Insurgentes, donde la mayor concentración se observó en Insurgentes; para el Cr, sólo la Reserva difirió de Insurgentes y las concentraciones foliares observadas en el Geopedregal fueron intermedias entre ambos sitios; el Hg es el único valor en donde la Reserva e Insurgentes tuvieron similaridad en su concentración y diferencia significativa con el Geopedregal. El Mn es el único en el que las concentraciones en los tres sitios fueron estadísticamente similares. El análisis de correlaciones mostró que varios de estos elementos tienen un aporte antropogénico atribuible a las fuentes de emisión como convertidores catalíticos y emisiones vehiculares.

LITERATURA CITADA

1. Aceñolaza, P.G., Zamboni, L.P., Gallardo-Lancho, L.F. 2009. *Aporte de hojarasca en bosques del predelta del río Paraná (Argentina)*. *Bosque* 30(3): 135-145.
2. Aerts, R., Berendse, F. 1989. *Above-ground nutrient turnover and net primary production of an evergreen and deciduous species in a heathland ecosystem*. *J. Ecol.* 77: 343-356.
3. Alcalá, J., Sosa, M., Moreno, M., Rodríguez, J.C., Loredó C., Lara, J.L., Tapia, J. 2009. *Concentraciones de Fe, Mn y Mg en material foliar de cinco especies arbóreas indicadoras de la contaminación urbana en la ciudad de Chihuahua, México*. *Multequina* 18: 37-51.
4. Al-Khlaifat, A., Al-Khashman, O. 2007. *Atmospheric heavy metal pollution in Aqaba city, Jordan, using Phoenix dactylifera L. leaves*. *Atmospheric Environment* 41: 8891–8897.
5. Anze, R. 1996. *Propuesta para la implementación de una red de biomonitoreo para contaminación atmosférica en la ciudad de La Paz*. Tesis de Maestría. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 193 pp.
6. Avitia Bretado, J.V. 2013. *Determinación de C y contaminantes atmosféricos en mantillo de Buddleja cordata en Ciudad Universitaria, UNAM*. Informe de Residencia Profesional, Universidad Juárez del Estado de Durango.
7. Ball, D., Hamilton, R., Harrison, R. 1991. *The influence of highway-related pollutants on environmental quality*. 1-47 pp. En: Hamilton, R., Harrison, R. (eds.), *Highway Pollution*. Elsevier Science, New York, USA.
8. Bargagli, R. 1998. *Trace elements in terrestrial plants: an ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg and R.G. Landes Company, Georgetown, TX, USA.
9. Barnett, H.L., Hunter, B.B. 1972. *Illustrated genera of imperfect fungi*. Burgess Pub. Co. 241 p.

10. Brack, C.L. 2002. *Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest*. Environmental Pollution 116(S1): S195-S200.
11. Brown, S., Iverson, L.R., Prasad, A., Liu, D. 1993. *Geographical distributions of carbon in biomass and soils of tropical Asian forests*. Geocarto International 4: 45-59.
12. Cadle, S.H., Mulawa, P.A., Ball, J., Donase, C., Weibel, A., Sagebiel, J.C., Knapp, K.T., Snow, R. 1997. *Particulate emission rates from in-use high-emitting vehicles recruited in Orange County, California*. Environmental Science and Technology 31: 3405-3412.
13. Campos, A., Alcaraz, G.I., Herrera, E.F., Sosa, M., Jiménez, J., Delgado, M., Ramírez, E., Puga, S. 2006. *Análisis temporal de las concentraciones, distribución de tamaño y morfología de las partículas suspendidas menores a 10 micras en la ciudad de Chihuahua, México*. Segundo Congreso Regional de Ciencias Ambientales, Ciudad Obregón, México.
14. Cano-Santana, Z. 1994a. *La reserva del Pedregal como ecosistema*. En: Rojo, A. (comp.). Pp. 149-158. *Reserva Ecológica "El Pedregal" de San Ángel: Ecología, Historia Natural y Manejo*. Las prensas de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
15. Cano-Santana, Z. 1994b. *Flujo de energía a través de Sphenarium purpurascens (Orthoptera: Acrididae) y productividad primaria neta aérea en una comunidad xerófila*. Tesis Doctoral en Ecología, Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 198 p.
16. Castillo-Argüero, S., Montes-Cartas, G., Romero-Romero, M. A., Martínez-Orea, Y., Guadarrama-Chávez, P., Sánchez, Gallén, I., Núñez-Castillo, O. 2004. *Dinámica y conservación de la flora del matorral xerófilo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (D.F., México)*. Boletín de la Sociedad Botánica de México 74: 51-75.
17. Castillo-Agüero, S., Martínez, Y., Romero, M.A., Guadarrama, P., Núñez, O., Sánchez, I., Meave, J.A. 2007. *La Reserva Ecológica del Pedregal de*

- San Ángel: Aspectos florísticos y ecológicos.* Jiménez Editores e impresores. México, D.F. 294 pp.
18. Celik, A., Kartal, A.A., Akdogan, A., Kaska, Y. 2005. *Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using Robinio pseudo-acacia L.* Environment International 31: 105-112.
 19. Chow, J.C., Watson, J.G., Edgerton, S.A., Vega, E. 2002. *Chemical composition of PM_{2.5} and PM₁₀ in Mexico City during winter 1997.* The science of the total environment 287(3): 177-201.
 20. Daily, G.C. 1997. *Introduction: What are ecosystems services?* Pp. 1-10. En: Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems. Daily, G.C. (ed.). Island Press, Washington D.C., USA.
 21. Delgado, H., Molinero, R., Cervantes, P., Nieto-Obregón, J., Lozano-Santana Cruz, R., Macías González, H.L., Mendoza-Rosales, C., Silva-Romo, G. 1998. *Geology of Xitle Volcano in southern Mexico City: a 2000 year old monogenetic volcano in an urban area.* Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología y Sociedad Geológica Mexicana, México, D.F. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 15(2): 115-131.
 22. Environment Agency. 2012. *Technical Guidance Note (Monitoring).* United Kingdom Environmental Agency. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/379053/LIT_6898.pdf (última fecha de consulta 27/01/2016)
 23. Escobedo, F.J., Wagner, J., Nowak, D.J., de la Maza, C. L., Rodríguez, M., Crane, D.E. 2008. *Analyzing the cost-effectiveness of Santiago Chile's policy of using urban forests to improve air quality.* J. Env. Manag. 86: 148-157.
 24. Fantozzi, F., Monaci, F., Blansua, T., Bargagli, R. 2013. *Holm oak (Quercus ilex) canopy as interceptor of airborne trace elements and their accumulation in the litter and topsoil.* Environmental pollution 183: 89-95.
 25. Fenger, J. 1999. *Urban air quality.* Atmospheric Environment 33: 4877-4900.

26. Fernández-Espinosa, A.J., Rossini-Oliva, S. 2006. *The composition and relationships between trace element levels in inhalable atmospheric particles (PM₁₀) and in leaves of Nerium oleander L. and Lantana camara L.* Chemosphere 62: 1665–1672.
27. Fries, C.Jr. 1960. *Geología del estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México.* Universidad Nacional Autónoma de México, Boletín del Instituto de Geología 60, 236 p.
28. García, E. 2004. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*, Serie Libros, núm. 6, Instituto de Geografía, UNAM, México. 246 p.
29. González, M.F.J., Candau, P. 1994. *Alternaria y Cladosporium: aeroalérgenos en la atmósfera de Huelva.* Studia Botánica 13: 83-86.
30. González-Rodríguez, H., Domínguez-Gómez, T.G., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M.V., Ramírez-Lozano, R.G., Pando-Moreno, M., Fernández, C.J. 2011. *Litterfall deposition and leaf litter nutrient return in different locations at Northeastern Mexico.* Plant Ecology 212: 1747–1757.
31. Guzmán-Morales, J. 2010. *Evaluación de la contaminación atmosférica por metales pesados en la zona urbana de la Ciudad de México, usando Ficus benjamina como biomonitor.* Tesis de Licenciatura en Química, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. 66 p.
32. Herrera, T. 2005. *El reino de los hongos.* 2a. Edición, Fondo de Cultura Económica USA. 552p.
33. Huang, X., Olmez, I., Aras, N.K., Gordon, G.E. 1994. *Emissions of trace elements from motor vehicles: potential marker elements and source composition profile.* Atmospheric Environment 28(8): 1385-1391.
34. Instituto de Geología. 2013.
<http://www.geologia.unam.mx:8080/igll/index.php/proyectos-extra/311-proyectos-ambientales/geopedregal/795-informacion> (última fecha de consulta 27/01/2016).
35. Janssen, N.A.H., van Mansom, D.F.M., van der Jagt, K., Harssema, H., Hoek, G., 1997. *Mass concentration and elemental composition of airborne*

- particulate matter at street and background locations*. Atmospheric Environment 31(8): 1185-1193.
36. Jenkins, T.A., Mackie, E.D., Matthews, R.W., Milles, G., Randle, T.J., White, M. 2011. *FC Woodland Carbon Code: Carbon Assessment Protocol*. Forestry Commission, United Kingdom. 56 p.
37. Jim, C.Y., Chen, W.Y. 2008. *Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China)*. Journal of Environmental Management 88: 665-676.
38. Kabata-Pendias, A., 2011. *Trace elements in Soil and Plants*. 4a Edición. CRC Press. 548p.
39. Khan, S., Khan, M.A., Rehman, S. 2011. *Lead and Cadmium Contamination of Different Roadside Soils and Plants in Peshawar City, Pakistan*. Pedosphere 21(3): 351-357.
40. Lee, D.S., Garland, J.A., Fox, A.A. 1994. *Atmospheric concentrations of trace elements in urban areas of the United Kingdom*. Atmospheric Environment 28: 2691-2713.
41. Lot-Helgueras, A., Pérez-Escobedo, M., Gil-Alarcón, G., Rodríguez-Palacios S., Camarena-Berruecos, P. 2012. *La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: Atlas de riesgos*. UNAM, ICyTDF, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel., México, D.F. 52 p.
42. Lot, A. y Cano-Santana, Z. (eds.). 2009. *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Libro Conmemorativo del 25 aniversario de la Reserva Ecológica de Ciudad Universitaria (1983-2008). Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Coordinación de la Investigación Científica, UNAM., México, D.F. 538 p.
43. Martínez-Mateos, A.E. 2001. *Regeneración natural después de un disturbio por fuego en dos microambientes contrastantes de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel México*. Tesis de Licenciatura en Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. 66 p.
44. McPherson, E.G., Nowak, D., Heisler, G., Grimmond, S., Souch, C., Grant, R., Rowntree, R. 1997. *Quantifying urban forest structure, function, and*

- value: the Chicago Urban Forest Climate Project. Urban Ecosystems 1: 49–61.*
45. MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystem and Human Well-being: Synthesis*. Island press. Washington, USA.
 46. Mendoza-Henández, P.E. 2002. *Sobrevivencia y crecimiento de los estadios iniciales de Buddleia cordata (tepozán) en ambientes contrastantes del Ajusco Medio, D. F. México*. Tesis de Maestría en Ciencias, Posgrado en Ecología y Ciencias Ambientales, Universidad Nacional Autónoma de México. 89 p.
 47. Meza-Aguilar., M.C., Moncada-Maya., J.O. 2010. *Las áreas verdes de la Ciudad de México. Un reto actual*. Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales 331 (56).
 48. Monaci, F., Moni, F., Lanciotti, E., Grechi, D., Bargagli, R. 2000. *Biomonitoring of airborne metals in urban environments: new tracers of vehicle emission, in place of lead*. Environmental Pollution 107: 321-327.
 49. Montero, G., Pasalodos, M., Montoto, M., López, E., Onrubia, R., Bravo-, A., Ruiz, R. 2013. *Contenido de carbono en la biomasa de las principales especies del matorral y arbustados de España*. 6° Congreso Forestal Español, Sociedad Española de Ciencias Forestales. Navarra, España.
 50. Mooney, H.A., Kummerow, J., Johnson, A.W., Parsons, D.J., Keeley, S., Hoffmann, A., Hays, R.I., Gilberto, J., Chu, C. 1977. *The producers-their resources and adaptive responses*. Pp. 85-143. En: Mooney, H.A. (ed.). *Convergent evolution in Chile and California Mediterranean Climate Ecosystems*. Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, Pennsylvania.
 51. Nahed, J., Sánchez, A., Grande, D., Pérez-Gil, F. 1998. *Evaluation of promissory tree species for sheep feeding in The Highlands of Chiapas, Mexico*. Animal Feed Science and Technology 73: 59-69.
 52. Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993 1993. *Salud ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros*

PM10 y partículas menores de 2.5 micrómetros PM2.5 de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire. Secretaría de Salud (SSA) Diario Oficial de la Federación.

53. Nowak, D.J. 1994. *Air pollution removal by Chicago's urban forest.* 63–81 pp. En: McPherson, E.G., Nowak, D.J., Rowntree, R.A. (eds.), *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project.* USDA, Forest Service, Gen. Tech. Rep. NE-186.
54. Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C., Ibarra, M. 2002. *Brooklyn's Urban Forest.* Gen. Tech. Rep. NE, Forest Service, USDA. 290 pp.
55. Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C. 2006. *Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States.* *Urban forestry & urban greening* 4: 115-123.
56. Ram, S.S., Majumder, S., Chaudhuri, P., Chanda, S., Santra, S.C., Maiti, P.K., Sudarshan, M., Chakraborty, A. 2012. *Plant canopies: bio-monitor and trap for re-suspended dust particulates contaminated with heavy metals.* *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 19 (5): 499-508.
57. Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos (RUOA), UNAM. 2013-2014. Datos climáticos. http://www.ruoa.unam.mx/pembu/d_historicos.html
Última fecha de consulta 27/01/2016
58. Rivas-Torres, D. 2005. *Planeación, Planeación, espacios verdes y sustentabilidad en el Distrito Federal.* Tesis para obtener el grado de Doctor en Diseño, División de Ciencias y Artes Para el Diseño. Universidad Autónoma Metropolitana. 209 pp.
59. Rocha, E.A., Alvarado Vázquez, M.A., Gutiérrez Reyes, R., Salcedo Martínez, S.M., Moreno Limón, S. 2013. *Variación temporal de esporas de Alternaria, Cladosporium, Coprinus, Curvularia y Venturia en el aire del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México.* *Contaminación y ambiente* 29: 155-165.
60. Romero, H., Irarrázaval, F., Opazo, D., Salgado, M., Smith, P. 2010. *Climas urbanos y contaminación atmosférica en Santiago de Chile.* *EURE* 36(109): 35-62.

61. Romero-Rangel, S., Aguilar-Rodríguez, S., Rojas-Centeno, E.C. 2003. *Buddleja cordata* H.B.K. *spp. cordata* (Buddlejaceae): *propagación y anatomía de la madera*. Polibotánica 16: 63-78.
62. Rzedowsky, J. 1954. *Vegetación del Pedregal de San Ángel (D.F., México)*. Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional. 129 p.
63. Rzedowski, J., Rzedowsky, G. 1979. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. Vol. 1. Continental, Michoacán, México.
64. Rzedowski, G., Rzedowski, J. 2001. *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2a. ed. Instituto de Ecología A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro, Michoacán. México. 1046 p.
65. Sánchez-Landero, L.A. 2013. *Análisis estadístico en la contaminación de hojas de Fraxinus udehi de la Zona Metropolitana del Valle de México*. Diplomado de Especialista en métodos estadísticos, Universidad Veracruzana. 42 p.
66. Santibáñez-Andrade, G. 2005. *Caracterización de la heterogeneidad ambiental en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel*. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 67 p.
67. Sardans, J., Peñuelas, J. 2007. *Drought changes the dynamics of trace element accumulation in a Mediterranean Quercus ilex forest*. Environmental pollution 147: 567-583.
68. Sawidis, T., Breuste, J., Mitrovic, M., Pavlovic, P., Tsigardias, K. 2011. *Tree as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities*. Environmental Pollution 159: 3560-3570.
69. Schlesinger, W.H., Gill, D.S. 1980. *Biomass, production, and the changes in the availability of light, water, and nutrients during the development of pure stands of the chaparral shrub, Ceanothus megacarpus, after fire*. Ecology 61: 781-789.

70. Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA). 2012. *Inventario de emisiones contaminantes y de efecto invernadero. Zona Metropolitana del Valle de México*. 122 pp.
71. Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA). 2008. *Inventario de emisiones contaminantes y de efecto invernadero. Zona Metropolitana del Valle de México*. 160 p.
72. SEREPSA (Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica Pedregal de San Ángel). 2008. *Manual de procedimientos del Programa de Adopción de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (PROREPSA)*. Secretaría Ejecutiva REPSA, Coordinación de la Investigación Científica, UNAM, México, D.F. 107 p.
73. Siebe, C. 2009. *La erupción del volcán Xitle y las lavas del Pedregal hace 1670 +/-35 años AP y sus implicaciones*. En: Lot, A., Cano-Santana, Z. (eds.). Pp. 44-49. *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Coordinación de la Investigación Científica. México, D.F.
74. Simon, E., Baranyai, E., Braun, M., Cserhádi, C., Fábíán, I., Tóthmérész, B. 2014. *Elemental concentrations in deposited dust on leaves along an urbanization gradient*. *Science of the Total Environment* 490: 514–520.
75. Slijepcevic, A. 2001. *Loss of carbon during controlled regeneration burn in Eucalyptus obliqua forest*. *Tasforest* 13(2): 281-290.
76. Solís, C., Mireles, A., Andrade, E., Zolezzi-Ruiz, H. 2007. *Environmental applications of PIXE at the Institute of Physics, UNAM*. *Revista Mexicana de Física* 53(3): 33-37.
77. Steunbing, L., Godoy, R., Alberdi, M. 2001. *Métodos de ecología vegetal*. Primera edición. Editorial Universitaria, S.A. Santiago de Chile. 347 p.
78. Ugolini, F., Tognetti, R., Raschi, A., Bacci, L. 2013. *Quercus ilex L. as bioaccumulator for heavy metals in urban areas: effectiveness of leaf washing with distilled water and considerations on the trees distance from traffic*. *Urban Forestry & Urban Greening* 12: 576–584.
79. United States Environmental Protection Agency (US-EPA). 1996. *Method 3052: Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based*

- matrices*. En: Test Methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods SW-846. US Government Printing Office (GPO), Washington, DC, USA. 20 p.
80. Valladares-Samperio, K. En proceso. Papel de los Hongos Micorrizógenos Arbusculares en servicios de regulación en un matorral xerofítico. Tesis de Maestría en Ciencias, Posgrado en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México.
81. Wee, M.L. 1999. *Predicting urban tree benefits and costs using growth models*. PhD Thesis, Australian National University, Canberra, Australia. 205 p.
82. Weinstein, L.H., Davison, A.W. 2004. *Flourides in the environment. Effects on plants and animals*. CABI Publish. Wallingford, United Kingdom. 297 p.
83. Whittaker, R.H., Niering, W.A. 1975. *Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona. V. Biomass, production, and diversity along the elevation gradient*. Ecology 56: 771-790.
84. Winther, M., Slentø, E. 2010. *Heavy Metal Emissions for Danish Road Transport*. NERI Technical Report no. 780, National Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark. 99 p.
85. Zambrano, G.A., Nash, T.H., Herrera, M.A. 2000. *Lichen decline in Desierto de los Leones (Mexico City)*. Bryologist 103: 428-41.
86. Zambrano, G.A., Nash, T.H., Herrera, M.A. 2002. *Lichen and air pollution in the forests surrounding Mexico City*. En: Fenn, M., De Bauer, L.I., Hernández-Tejeda, T. (eds). Pp. 283-97. Urban air pollution and forests: resources at risk in the Mexico City air basin. New York: Springer Verlag.

Anexo 1. Contenido (mg/kg) de elementos cuantificados en la muestra patrón NIST 1570a “Trace elements in spinach”.

Elemento	Valor
Aluminio	310.000
Arsénico	0.068
Azufre	0.500*
Boro	37.700
Cadmio	2.876
Calcio	1.526*
Cobalto	0.393
Cobre	12.220
Europio	0.006
Escandio	0.006
Estroncio	55.540
Fósforo	0.519*
Magnesio	0.900*
Manganeso	76.000
Mercurio	0.030
Níquel	2.142
Nitrógeno	6.060*
Plomo	0.200
Potasio	2.900*
Rubidio	12.700
Selenio	0.115
Sodio	1.821*
Torio	0.048
Uranio	0.155
Vanadio	0.568
Zinc	82.300

* porcentaje.

Anexo 2. Biomasa decidua total de *Buddleja cordata* generada en peso seco (Kg) en once individuos en un pedregal sujeto a restauración ecológica dentro del campus de Ciudad Universitaria, UNAM, México, D. F. (Geopedregal) a lo largo de un año (hoja, tallo, flor/fruto). Las categorías son de acuerdo a la cobertura foliar (m²): Categoría 1 = <15; categoría 2= 15-30; categoría 3= >30.

Árbol	Categoría	Zona	2013					2014					Total	Promedio		
			mayo	junio	julio	agosto	septiem bre	octub re	noviem bre	diciem bre	enero	febrero			marzo	abril
T-003	1	P	0.081	0.250	0.116	0.274	0.243	0.438	0.316	0.538	0.180	0.158	0.242	0.250	3.086	0.257
T-007	1	P	0.036	0.117	0.089	0.102	0.125	0.198	0.204	0.338	0.234	0.106	0.152	0.117	1.818	0.151
T-018	1	H	0.038	0.244	0.840	0.152	0.078	0.256	0.304	0.554	0.222	0.144	0.260	0.244	3.336	0.278
T-021	1	P	0.169	0.072	0.288	0.188	0.232	0.609	0.450	0.368	0.164	0.114	0.344	0.072	3.070	0.255
Categoría 1															11.310	
T-002	2	G	0.133	0.372	1.148	0.698	0.720	1.262	1.026	1.504	0.486	0.296	0.352	0.372	8.369	0.697
T-004	2	P	0.262	0.600	1.284	0.692	0.570	0.836	0.802	0.728	2.772	0.910	0.894	0.600	10.950	0.912
T-008	2	G	0.159	0.138	0.407	0.490	0.353	1.172	0.914	0.908	0.694	0.526	0.324	0.138	6.223	0.518
T-011	2	H	0.160	0.182	0.584	0.350	0.162	0.518	0.562	0.842	0.394	0.318	0.450	0.182	4.704	0.392
Categoría 2															30.246	
T-010	3	H	0.532	0.812	1.434	1.204	0.570	1.402	1.984	3.112	1.960	0.966	1.836	0.812	16.624	1.385
T-012	3	H	1.079	1.206	1.231	0.843	0.972	2.046	1.792	2.024	2.996	1.128	2.590	1.206	19.113	1.592
T-013	3	H	0.804	1.212	1.826	1.299	0.949	1.758	2.928	3.012	3.006	1.468	2.224	1.212	21.698	1.808
Categoría 3															57.435	
Promedio mensual															8.249	

Anexo 3. Biomasa decidua foliar (Kg) en once individuos de *Buddleja cordata* en un pedregal sujeto a restauración ecológica dentro del campus de Ciudad Universitaria, UNAM, México, D. F. (Geopedregal) a lo largo de un año. Las categorías son de acuerdo a la cobertura foliar (m²): Categoría 1 = <15; categoría 2= 15-30; categoría 3= >30. Sitios donde se ubicaron: P= plano, G=grieta, H=hondonada.

Árbol	Categoría	Zona	2013								2014				Total	Promedio
			mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abril		
T-003	1	P	0.064	0.136	0.096	0.214	0.164	0.342	0.260	0.400	0.114	0.920	0.112	0.058	2.880	0.240
T-007	1	P	0.024	0.068	0.040	0.094	0.123	0.190	0.202	0.332	0.218	0.086	0.074	0.029	1.480	0.123
T-018	1	H	0.030	0.076	0.062	0.136	0.066	0.220	0.294	0.526	0.166	0.114	0.120	0.076	1.886	0.157
T-021	1	P	0.158	0.138	0.166	0.156	0.139	0.406	0.342	0.254	0.120	0.072	0.160	0.014	2.125	0.177
Total Categoría 1															8.371	
T-002	2	G	0.114	0.428	0.802	0.550	0.372	0.720	0.632	1.206	0.418	0.218	0.162	0.164	5.786	0.114
T-004	2	P	0.230	0.656	0.792	0.522	0.374	0.726	0.782	0.622	2.564	0.594	0.272	0.096	8.230	0.685
T-008	2	G	0.136	0.342	0.364	0.440	0.138	0.734	0.658	0.642	0.518	0.426	0.188	0.070	4.656	0.388
T-011	2	H	0.152	0.160	0.392	0.268	0.138	0.492	0.544	0.730	0.322	0.254	0.158	0.040	3.650	0.304
Total Categoría 2															22.322	
T-010	3	H	0.278	0.852	1.084	1.072	0.474	1.162	1.724	2.686	1.700	0.788	1.108	0.354	13.282	1.106
T-012	3	H	0.866	0.924	0.957	0.681	0.647	1.420	1.352	1.540	2.148	0.888	1.390	0.610	13.423	1.118
T-013	3	H	0.766	0.680	1.354	1.105	0.739	1.224	2.100	2.288	2.008	1.032	1.120	0.636	15.052	1.254
Total Categoría 3															41.747	
Promedio mensual															6.036	

Anexo 4. Aspecto de las hojas de un individuo de *Buddleja cordata* (identificado en la parte superior central), recolectadas a lo largo del año 2013-2014 en un pedregal sujeto a restauración ecológica dentro del campus de la Ciudad universitaria, México D. F. (Geopedregal).



Anexo 4 (continuación). Aspecto de las hojas de un individuo de *Buddleja cordata* (identificado en la parte superior central), recolectadas a lo largo del año 2013-2014 en un pedregal sujeto a restauración ecológica dentro del campus de la Ciudad Universitaria, México D. F. (Geopedregal).



Anexo 4 (continuación). Aspecto de las hojas de un individuo de *Buddleja cordata* (identificado en la parte superior central), recolectadas a lo largo del año 2013-2014 en un pedregal sujeto a restauración ecológica dentro del campus de la Ciudad Universitaria, México D. F. (Geopedregal).



Anexo 4 (continuación). Aspecto de las hojas de un individuo de *Buddleja cordata* (identificado en la parte superior central), recolectadas a lo largo del año 2013-2014 en un pedregal sujeto a restauración ecológica dentro del campus de la Ciudad Universitaria, México D. F. (Geopedregal).



Anexo 4 (continuación). Aspecto de las hojas de un individuo de *Buddleja cordata* (identificado en la parte superior central), recolectadas a lo largo del año 2013-2014 en un pedregal sujeto a restauración ecológica dentro del campus de la Ciudad Universitaria, México D. F. (Geopedregal).



Anexo 4 (continuación). Aspecto de las hojas de un individuo de *Buddleja cordata* (identificado en la parte superior central), recolectadas a lo largo del año 2013-2014 en un pedregal sujeto a restauración ecológica dentro del campus de la Ciudad Universitaria, México D. F. (Geopedregal).



Anexo 5. Resultados de análisis en ICP-OES de contaminantes totales retenidos en hojas de *Buddleja cordata* muestreadas en distintos sitios de la Ciudad Universitaria (mg/Kg).

	Geopedregal noviembre	Geopedregal abril	Sendero Ecológico	Insurgente s	Reserva
Al	85.84	251.02	83.40	370.50	120.10
As	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Ba	17.92	20.05	8.83	18.08	10.63
Be	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Ca	11558.66	9890.12	6064.08	8373.57	6645.19
Cd	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Co	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Cr	0.85	0.68	0.33	1.21	0.9
Cu	7.77	7.56	14.04	11.61	6.79
Fe	142.50	263.18	100.01	347.32	118.78
Hg	6.47	12.20	14.54	4.16	6.06
K	3057.85	2374.37	5492.56	5587.43	3966.89
Li	0.28	0.41	0.40	0.45	0.36
Mg	693.30	852.70	1035.72	1394.29	1230.55
Mn	21.24	24.62	18.11	25.24	28.84
Mo	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Na	55.15	63.88	60.17	94.95	53.77
Ni	0.52	0.47	0.20	0.95	0.21
Pb	0.49	0.50	0.23	1.15	0.03
Sb	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Se	1.23	0.66	0.62	0.17	0.35
Sn	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Sr	45.33	42.03	29.59	42.90	30.34
Ti	15.96	17.49	2.61	15.60	3.18
Tl	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
V	0.37	0.81	0.16	1.04	0.23
Zn	14.05	15.59	13.77	30.09	12.87