



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE CIENCIAS

**Establecimiento del ensayo cometa en linfocitos humanos
para la evaluación de daño genotóxico provocado por
contaminantes atmosféricos presentes en extractos del
musgo *Hypnum amabile* expuestos en 5 diferentes zonas
del área metropolitana de la Ciudad de México.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

JULIO ALEJANDRO MORENO SERRANO



DIRECTORA DE TESIS:
Dra. SANDRA LUZ GÓMEZ ARROYO

Ciudad Universitaria, CDMX, 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

1. Datos del alumno

Moreno
Serrano
Julio Alejandro
5562501733
Universidad Nacional Autónoma de
México
Facultad de Ciencias
Biología
107002424

2. Datos del tutor

Dra.
Sandra Luz
Gómez
Arroyo

3. Datos del sinodal 1

Dr.
Luis Humberto
Mojica
Vázquez

4. Datos del sinodal 2

M. en C.
Ana Rosa
Flores
Márquez

5. Datos del sinodal 3

M. en C.
Denisse Josefina
Badillo
Velázquez

6. Datos del sinodal 4

Dra.
Josefina
Cortés
Eslava

7. Datos del trabajo escrito

Establecimiento del ensayo cometa en linfocitos humanos para la evaluación de daño genotóxico provocado por contaminantes atmosféricos presentes en extractos del musgo *Hypnum amabile* expuestos en 5 diferentes zonas del área metropolitana de la Ciudad de México.

65 p
2020

Agradecimientos

A mi tutora, la Doctora Sandra Gómez Arroyo, por todo el tiempo y dedicación que me ha brindado, por todo el conocimiento que me aportó, por permitirme formar parte de su grupo de trabajo, por su gran apoyo y sobre todo, por guiarme a lo largo de éste proceso.

A mis sinodales, por su tiempo, observaciones, sugerencias y toda la atención que me proporcionaron para enriquecer mi trabajo.

A la M. en C. Ana Rosa Flores Márquez, por su asesoría técnica en el trabajo de laboratorio, por acompañarme durante el proceso y enseñarme muchas cosas, por ser una gran persona, así como por todo el apoyo incondicional que me ha dado.

A la Dra. Josefina Cortés Eslava, por sus conocimientos que me brindó en el trabajo de laboratorio.

Al Dr. César Damián Alonso Murillo por su colaboración en el manejo y exposición de los musgos en las diferentes estaciones meteorológicas.

A la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México, por la beca otorgada para la realización de la presente tesis a través del proyecto SECITI/057/2016.

A Yair, por ser cómplice de todas mis locuras y por apoyarme en todo sentido. A Mar, por ser una increíble amiga y persona, por siempre apoyarme. A Daniela, por haberme acompañado durante todo el trabajo en el laboratorio, por ser una gran amiga y equipo. A Ethan, por brindarme su amistad y apoyo, por compartir parte de su vida conmigo.

A Diana, por ser una increíble persona, por no dejarme caer.

A mis padres, Margarita y Julio, por todo su amor y apoyo incondicional, por hacer de mi, la persona que soy.

DEDICATORIA

A mis padres, Margarita Serrano y Julio Moreno, con todo mi amor
y agradecimiento infinito.

A “la nena”

Índice

Resumen	1
Introducción.....	2
Contaminación atmosférica.....	2
Contaminación en la Ciudad de México.....	2
Contaminantes atmosféricos y efectos sobre la salud humana	3
Material particulado (PM _{2.5} y PM ₁₀)	5
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	5
Metales pesados	7
Biomonitoreo ambiental.....	8
Musgos.....	8
Pruebas de evaluación genotóxica	10
Electroforesis unicelular o ensayo cometa.....	10
Justificación.....	11
Objetivo general	12
Objetivos particulares.....	12
Hipótesis.....	12
Material y Método.....	13
Colecta	13
Aclimatación	13
Bolsas de musgo	14
Soportes y estaciones de exposición	15
Mantenimiento de musgos.....	15
Exposición a la atmósfera.....	16
Procesamiento de las muestras	16
Extractos.....	18
Determinación de metales pesados	18
Determinación de los hidrocarburos aromáticos policíclicos.....	19
Aislamiento de linfocitos	20
Determinación de viabilidad y conteo celular.....	20
Ensayo Cometa versión alcalina.....	21
Análisis estadístico.....	23
Resultados.....	23
Momento de la cauda en la exposición a extractos de musgos por mes	23

Extracto de musgo no lavado.....	24
Extractos de musgo lavados.....	27
Correlación de los contaminantes ambientales específicos con el momento de la cauda	30
Discusión	33
Conclusión.....	38
Referencias	39
Anexos	47
Anexo 1.....	47
Anexo 2.....	48
Anexo 3.....	57

Resumen

La contaminación ha sido asociada al desarrollo de diversas enfermedades, sobre todo al cáncer y enfermedades respiratorias. Sin embargo, en el ambiente existe una mezcla compleja de compuestos que dificulta conocer cuáles y qué interacciones entre ellos están causando el daño sobre la salud humana y el ambiente. Algunos de los componentes que han tomado gran relevancia son el material particulado, los hidrocarburos aromáticos policíclicos y los metales pesados; aunque los mecanismos por los que repercuten en la salud son poco entendidos, uno de los impactos más relevantes es el daño genotóxico mediado por estrés oxidante. En México existen pocos estudios sobre el efecto de la contaminación ambiental sobre el daño al DNA en células humanas, para evaluar este aspecto, en el presente trabajo se utilizó musgo *Hypnum amabile* como organismo bioacumulador de contaminantes en distintas regiones del área metropolitana de la Ciudad de México y se evaluó el efecto genotóxico de extractos obtenidos de estos organismos en linfocitos humanos aislados mediante electroforesis unicelular alcalina. Se empleó el extracto de musgos expuestos lavados y no lavados, posterior a su exposición a los contaminantes. Los no lavados causaron mayor daño genotóxico comparados con los lavados. Tlalnepantla fue la localidad que presentó la correlación mayor entre la concentración de los distintos contaminantes y el momento de la cauda (parámetro de daño genotóxico), esto se puede asociar con el gran afluente de vehículos que circula en esa zona y lo más importante, la cantidad excesiva de industrias que se concentra en este lugar. Por lo que la gente que habita cerca de esta zona es catalogada como un grupo de personas en riesgo de desarrollar enfermedades respiratorias. Este trabajo destaca la importancia de la implementación de diversas técnicas de monitoreo, remediación y efecto de los contaminantes atmosféricos de riesgo para la salud humana.

Introducción

Contaminación atmosférica

El crecimiento de los sistemas urbanos e industriales ha generado múltiples beneficios, pero a su vez también han provocado riesgos (1), un ejemplo de ello son las numerosas emisiones antropogénicas que tienen un impacto sobre la calidad del aire y la atmósfera. La contaminación atmosférica es definida como la presencia de sustancias en el aire, en cantidades que pueden ser perjudiciales para la vida, afectar estructuras, materiales, ocasionar cambios en condiciones meteorológicas o climáticas y un aspecto de suma importancia es el efecto que tiene sobre la salud humana (2-4).

El ser humano ha propiciado el deterioro ambiental, a través de diversas actividades que producen emisión de contaminantes atmosféricos, por ejemplo: el uso de fogatas, la combustión de madera, industrialización y urbanización de las grandes ciudades (5). A nivel urbano, sin tomar en cuenta los procesos industriales, una ciudad de un millón de habitantes consume diariamente en promedio: 625000 m³ de agua, 2000 toneladas de alimentos y 9500 toneladas de combustible lo cual genera: 500000 m³ de aguas residuales, 2000 toneladas de desechos sólidos y 950 toneladas de contaminantes atmosféricos (4).

Contaminación en la Ciudad de México

En el área metropolitana de la Ciudad de México (AMCM) habitan más de 20 millones de personas y es considerada una de las ciudades más grandes del

mundo. El acelerado crecimiento poblacional y urbano han generado una serie de problemas ambientales importantes (6), y aunque existen fenómenos atmosféricos naturales que deterioran la calidad del aire, las actividades humanas han acelerado y aumentado la magnitud del deterioro ambiental (7). Las prácticas involucradas en este proceso incluyen: la demanda energética en los sectores industrial, residencial, de servicio y el uso de combustibles fósiles para los medios de transporte, esto se refleja en un dato alarmante sobre los vehículos particulares que circulan en la Ciudad de México, ya que superan los cuatro millones y medio de unidades (8).

Los principales contaminantes registrados por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) derivados de las actividades antes mencionadas son: monóxido de carbono, ozono, bióxido de nitrógeno, óxidos de azufre, partículas menores o iguales a 10 micrómetros (PM_{10}), partículas menores o iguales a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) y compuestos orgánicos volátiles que contienen metales pesados (9,10).

Se han identificado ciertos contaminantes (contaminantes criterio) que son altamente nocivos para la salud de los seres humanos, entre los cuales se encuentran todos los mencionados anteriormente a excepción de los metales pesados (11, 12).

Contaminantes atmosféricos y efectos sobre la salud humana

Un contaminante atmosférico puede ser definido como cualquier agente (químico, físico o biológico) que al incorporarse al ambiente altera o modifica sus características, incluyendo la salud de todos los seres vivos. Los contaminantes atmosféricos se clasifican por su origen en primarios y secundarios; los primarios se encuentran en la atmósfera tal y como fueron generados por procesos naturales o por actividades del ser humano, por ejemplo, el monóxido de carbono (CO) y el

bióxido de azufre (SO₂). Por otro lado, los secundarios son los que se forman en la atmósfera por reacciones fotoquímicas o no fotoquímicas, por ejemplo, el ozono y los sulfatos (13). Existen contaminantes atmosféricos con repercusiones en la atmósfera entre los que se encuentran: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO₂), óxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), amoníaco (NH₃), ácido sulfhídrico (H₂S), material particulado atmosférico (metales, compuestos inorgánicos secundarios y orgánicos) y compuestos orgánicos volátiles (14). Las partículas suspendidas están constituidas por mezclas complejas de cientos de compuestos en las cuales el material orgánico que forma parte del PM₁₀ ($\leq 10 \mu\text{m}$) es considerado potencialmente mutagénico, citotóxico y carcinógeno (15,16).

Existe evidencia que relaciona las enfermedades con el ambiente, la cual procede de investigaciones de laboratorio, experimentación con animales, estudios epidemiológicos y toxicológicos y los resultados obtenidos permiten extrapolar y estimar posibles riesgos para la salud (1). Se estima que en países industrializados, un 20% de la incidencia de enfermedades puede ser atribuido a factores ambientales (17). Es de suma importancia reconocer y considerar la contaminación del aire como un aspecto prioritario de salud pública, ya que dicho factor eleva de forma considerable las tasas de mortalidad y morbilidad en áreas urbanas (18).

La relevancia que el ambiente tiene sobre la incidencia de ciertas enfermedades se ve reflejado en el reporte de varias organizaciones de salud, por ejemplo: la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha considerado algunos compuestos presentes en el aire contaminado como cancerígenos (19). La Secretaría de Salud de la Ciudad de México ha reportado que la exposición a la contaminación del aire se encuentra relacionada con enfermedades respiratorias crónicas y agudas, aumento en ataques de asma, disminución de capacidad respiratoria, incremento de enfermedades cardíacas y aumento en cánceres pulmonares (20). Aunado a lo anterior, en la AMCM, diversas condiciones naturales como son: la latitud, altitud y ser una cuenca rodeada de montañas, propician que la concentración de contaminantes alcancen niveles de riesgo para la salud (21,22).

Material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀)

Las partículas pueden ser inhalables si presentan un diámetro igual o menor a 10 µm (23) y se clasifican con base en su tamaño: a) partículas burdas; diámetro menor de 10 µm (PM₁₀), y mayor de 2.5 µm, compuestas principalmente por sílice, aluminio, titanio, sodio, hierro y cloruros, b) partículas finas; diámetro igual o menor a 2.5 µm (PM_{2.5}), se componen por productos derivados de la combustión de diésel, incluyen plomo, carbono, vanadio, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, c) partículas ultra finas; diámetro menor de 1µm, se derivan de quemas forestales, agrícolas y por combustión de gasolina y diésel, se caracterizan por permanecer en la atmósfera por periodos cortos ya que tienden a unirse a partículas más grandes (24, 25). Existe una relación entre el tamaño y la composición química de las aeropartículas con sus efectos en la salud (26), las finas se consideran más tóxicas que las grandes (27, 28). Las de diámetro igual o menor a 2.5 µm (PM_{2.5}) pueden depositarse en la región alveolar en cantidades significativas (29).

Las partículas suspendidas son capaces de interferir con el sistema de defensa del aparato respiratorio, o bien, actuar como vehículo de sustancias tóxicas absorbidas o adheridas a la partícula. En México, la norma que regula los niveles de PM₁₀ entró en vigor en 1994 y en el año 2005 fueron incluidas las PM_{2.5} (12). El polvo forma parte del material particulado respirable (PM_{2.5} y PM₁₀) y dentro de ellos se encuentran, por ejemplo, sustancias inductoras de mutaciones y cáncer como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) (30,31).

Hidrocarburos aromáticos policíclicos

Entre los compuestos hallados en el material orgánico extraído (MOE) de las partículas, se encuentran los (HAPs), entre otros (32). Los HAPs son compuestos orgánicos formados por dos o más anillos aromáticos condensados, se originan por

pirólisis o combustión incompleta de materia orgánica que contiene carbono e hidrógeno. En altas temperaturas, la pirólisis de compuestos orgánicos produce fragmentos de moléculas y radicales que se combinan para dar lugar a los HAPs, la composición de dichos productos depende del combustible, la temperatura y el tiempo de permanencia a altas temperaturas. Los que son liberados a la atmósfera en forma de vapor son adsorbidos por las partículas presentes en ella. Los HAPs se pueden encontrar en aire, tierra y agua, procedentes de fuentes naturales o antropogénicas, la quema de combustibles fósiles es su principal fuente de emisión y otras proceden de la combustión de residuos y madera (33).

Pueden reaccionar con diferentes componentes de la atmósfera y así producir derivados: oxigenados, hidrocarburos aromáticos nitropolicíclicos y clorados, los cuales pueden llegar a ser más tóxicos (34).

Los HAPs y sus derivados son el mayor componente de las emisiones vehiculares, de desechos industriales y de productos urbanos, son contaminantes ubicuos, se consideran mutágenos y cancerígenos para el ser humano (35). Algunos de sus derivados requieren de activación metabólica del huésped para ejercer sus efectos tumorigénicos, cancerígenos y mutagénicos (36, 37). La Agencia de Protección Ambiental de EUA (EPA por sus siglas en inglés), ha clasificado al benzo [a] pireno (BaP), benzo [a] antraceno y benzo [b] fluoranteno como probables cancerígenos y mutagénicos para los seres humanos (38) y debido a que el BaP forma parte de uno de los 16 HAPs de alta prioridad es utilizado como un indicador de riesgo de cáncer (39).

La exposición ocupacional y ambiental a diversas sustancias que los contengan, puede incrementar el riesgo de desarrollar cáncer en seres humanos (40, 41). La exposición a contaminantes ambientales puede llevarse a cabo por distintas vías: inhalación, ingestión, absorción dérmica, etc. (42).

Metales pesados

Los metales se encuentran entre los agentes tóxicos más viejos conocidos por los seres humanos (43). El concepto de metal pesado suele ser aplicado a elementos que presentan una densidad superior a 6000 kg m^3 , existen algunos como: cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb) y cromo (Cr) los cuales son importantes contaminantes ambientales particularmente en áreas con alta concentración urbana, su presencia puede causar serios problemas a los organismos y efectos bioacumulables en especies, como en el caso de la vegetación. La contaminación por metales pesados deriva de fuentes como la actividad agrícola e industrial y se convierte en uno de los principales problemas de salud en el mundo y sistemas ecológicos, así que su estudio toma interés debido al impacto ambiental por su grado de contaminación, potencial tóxico y de ecotoxicidad (44).

La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés), considera al mercurio, plomo y cadmio como posibles carcinógenos para los seres humanos (45). Se ha demostrado que los metales pesados son capaces de catalizar el deterioro oxidante de las biomoléculas (46) y que una vez emitidos en el ambiente, pueden permanecer durante muchos años, aumentar su concentración en los seres vivos y acumularse (47).

La Asociación Oficial del Control de Alimentos de Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) considera que los metales tóxicos son el arsénico (As), aluminio (Al), manganeso (Mn), hierro (Fe), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), selenio (Se), talio (Tl), níquel (Ni), vanadio (V), zinc (Zn) y cromo hexavalente (Cr^{+6}) (48). Por su elevada toxicidad, resulta alarmante el impacto en la salud causado por exposición prolongada o bio-acumulación, ya que dependiendo del metal o metaloide, se puede producir daño en órganos y promover el desarrollo de cáncer (49).

Biomonitoreo ambiental

Un organismo es considerado como bioindicador cuando presenta alguna reacción, que puede ser identificada frente a diferentes grados de alteración del medio, por ejemplo, ante a la contaminación del aire (50). Existen diversos organismos que pueden ser utilizados como bioindicadores; especies de plantas vasculares, briofitas, algas, líquenes, hongos, animales invertebrados y vertebrados. En el caso de la contaminación atmosférica son considerados como buenos bioindicadores aquellos organismos que presentan sensibilidad a los contaminantes aéreos, una amplia distribución y una gran longevidad (51). Los organismos bioindicadores son capaces de responder a la contaminación ya que puede alterarse su fisiología, o por presentar la capacidad de acumular sustancias, dicha respuesta se encuentra influenciada por condiciones físicas: temperatura, humedad, radiación y viento, por condiciones nutricionales y fisiológicas (52). Los diferentes métodos de bioindicación (biomarcadores, biosensores, biopruebas) han sido empleados en las últimas décadas como una herramienta rutinaria de diagnóstico, monitoreo y gestión de sistemas ambientales (53,54,55,56).

Los musgos se clasifican como briofitas, tienen características estructurales que les confieren una alta sensibilidad al ambiente haciéndolos biomonitores adecuados para diversos contaminantes atmosféricos ya que presentan filidios con pocos estratos y sin cutícula, tejido de conducción interno poco desarrollado y por ello tienen dependencia a la humedad atmosférica para la entrada de nutrientes (57).

Musgos

Existen alrededor de 15000 especies de musgo en todo el mundo (58), en México se reconocen 984 especies. Son plantas verdes generalmente pequeñas, viven en suelo, rocas o como epífitos, en sitios húmedos, arraigados o flotando en agua

dulce. Por su anatomía los tallos y las hojas son estructuras simples (59). Forman parte de las plantas no vasculares y carecen de adaptaciones o mecanismos de defensa que presentan las plantas vasculares (cutícula, paredes con cera) y aunque no poseen este tipo de barreras, no se han reportado ataques por hongos, bacterias o virus, además de ello, muchos presentan resistencia a la desecación. Lo anterior lleva a sugerir que los musgos han desarrollado un metabolismo químico complejo como una estrategia de defensa y adaptación (60, 61). Se caracterizan por reducir la erosión, intervienen en el intercambio iónico, participan con cianobacterias en fijación de nitrógeno, funcionan como refugio para algunos animales invertebrados, como zona de germinación de numerosas plantas vasculares (62) y se consideran como indicadores de condiciones ambientales (63, 64).

Muchas especies de musgos han sido utilizadas en algunas partes del mundo como indicadores o monitores de la contaminación atmosférica, ya que: a) acumulan contaminantes del aire, b) contienen niveles de contaminantes en sus tejidos que varían según la distancia a la fuente, c) presentan niveles naturales de sustancias contaminantes constantes y d) son altamente sensibles en su morfología a cambios significativos en niveles de contaminación (65).

Diversos estudios reportan que los musgos tienen la capacidad de absorber metales (66, 67). La captación de los metales por el musgo se produce por intercambio de iones y formación de complejos. El intercambio y la quelación de metales en los musgos posiblemente se realiza gracias a sus componentes químicos, consistente en una gran variedad de grupos funcionales orgánicos capaces de formar quelatos e intercambio de iones (68, 69). Un método empleado para el depósito de metales en musgos es el llamado “bolsa de musgo” el cual consiste en obtener grandes cantidades de una especie adecuada en un área de aire limpio, se lavan y luego se colocan en bolsas de maya de nylon, son colocadas en áreas seccionales y después son suspendidas en ubicaciones específicas por periodos de tiempo definidos (70).

Hypnum amabile es un musgo descrito por Delgadillo, crece sobre roca, suelo o humus en lugares expuestos o sombreados y secos, húmedos o mojados. Se encuentra en la Ciudad de México, Estado de México, Puebla y Tlaxcala (71).

Pruebas de evaluación genotóxica

La vigilancia de contaminantes genotóxicos en el ambiente tiene dos propósitos: analizar el riesgo para los organismos que habitan el ambiente y evaluar el riesgo a su exposición para los seres humanos en diferentes modelos biológicos (72). La vigilancia se ha realizado mediante una serie de ensayos para detectar distintos niveles de genotoxicidad (73), entre ellas se encuentra el ensayo de micronúcleos el cual evidencia la pérdida de material genético causada por procesos aneugénicos o clastogénicos (74), el ensayo cometa que detecta rompimientos de las hebras en el DNA (75), entre otros.

Electroforesis unicelular o ensayo cometa

En 1984, Östling y Johanson (76) describieron por primera vez el comportamiento del DNA de células individuales bajo un campo eléctrico, detectando rupturas inducidas por la radiación ionizante, emplearon un pH neutro para evidenciar rupturas de doble cadena. Posteriormente Singh *et al.* en 1988 (77) modificaron la técnica para realizarla en condiciones alcalinas ($\text{pH} > 13$), logrando revelar rupturas de cadena sencilla y sitios sensibles al álcali.

Versión alcalina ha sido recomendada como la óptima para identificar sustancias con actividad genotóxica potencial en el “International Workshop on Genotoxicity Test Procedures” (75).

La técnica consiste en embeber las células en un gel de agarosa, lisarlas en una solución rica en sales y detergentes, posteriormente los geles son sometidos a electroforesis en la que se produce una migración del DNA fragmentado hacia el ánodo, se neutralizan, se fija con etanol absoluto y por último se tiñen con fluorocromos. La imagen que se obtiene como resultado se asemeja a un cometa donde la cabeza es el DNA no dañado y la cola es DNA fragmentado (78).

El ensayo de electroforesis unicelular alcalina, sobre estimación de daño primario al

DNA, comparado con otras pruebas, es muy sensible para detectar bajos niveles de daño, es rápida, el análisis de los datos a nivel de células individuales es sencillo, requiere un tamaño pequeño de muestra, es flexible, de bajo costo y es aplicable a cualquier población celular (75,79), por las ventajas anteriores se justifica su amplio uso en estudios *in vivo* e *in vitro* para la evaluación genotóxica de sustancias químicas, así como en el biomonitoreo ambiental y humano (79, 80, 81).

La sangre humana es una fuente de células muy conveniente para experimentación o biomonitoreo. Las ventajas de utilizar linfocitos son: se obtienen fácilmente y en grandes cantidades, no requieren instalaciones de cultivo celular, son diploides y se encuentran en la misma fase del ciclo celular (G0). Pueden ser aislados mediante centrifugación con un medio de separación con alta densidad. Además, el hecho de que los contaminantes ambientales afecten a células humanas del sistema inmunológico, es un reflejo de que pueden alterar la regulación homeostática que tiene el organismo para la defensa contra diversas patologías (82).

Justificación

Debido al riesgo que corre la salud humana asociado a la contaminación ambiental, el preocupante aumento del deterioro del ambiente por las actividades humanas y la poca información experimental que existe sobre los componentes de la atmósfera responsables del efecto nocivo sobre la salud es importante determinar los efectos en diversos sistemas de evaluación de daño citotóxico y genotóxico, así como la viabilidad de organismos biomonitores. Por lo anterior, este estudio plantea el uso de un sistema vegetal vivo que permita detectar la acumulación y la verificación de los efectos genotóxicos de los contaminantes ambientales en células humanas.

Objetivo general

Evaluar el daño genotóxico mediante el ensayo cometa en linfocitos humanos *in vitro* provocado por la acumulación de contaminantes atmosféricos presentes en extractos del musgo *Hypnum amabile* lavados y sin lavar expuesto al ambiente de cinco zonas del área metropolitana de la Ciudad de México.

Objetivos particulares

1. Determinar los metales pesados e hidrocarburos aromáticos policíclicos presentes en los extractos del musgo *Hypnum amabile*.
2. Correlacionar el daño genotóxico causado por los extractos del musgo *Hypnum amabile* con los metales pesados y los hidrocarburos aromáticos policíclicos determinados.

Hipótesis

Se encontrará daño genotóxico significativo entre las células tratadas con los extractos de musgos expuestos a la atmósfera de cinco sitios del área metropolitana de la Ciudad de México con respecto al testigo, además habrá distintos niveles de daño al DNA en relación a la contaminación de la zona y a la temporada de exposición.

Material y Método

Colecta

Fueron recolectados los tapetes de musgo (Fig. 1) en la región de Chignahuapan, Puebla (latitud: 19°50' 19"N y longitud: 98°01'54") los cuales se trasladaron al Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) para su posterior uso.



Figura. 1 Musgos recolectados en la región de Chignahuapan, Puebla

Aclimatación

Los musgos recolectados fueron puestos en una cámara de crecimiento vertical (Fig. 2) a una temperatura y una humedad controladas para aclimatarlos.



Figura. 2 Cámara de crecimiento vertical

Bolsas de musgo

Se fabricaron bolsas de tul (Figs. 3 y 4) con el fin de almacenar los musgos (previamente aclimatados) y exponerlos al ambiente sin alguna restricción.



Figura. 3 Bolsa de musgo



Figura. 4 Bolsas de musgos

Soportes y estaciones de exposición

Fueron armados soportes especiales para las bolsas de musgo (Fig. 5) y se colocaron en 5 distintas estaciones de monitoreo ambiental en el AMCM; 1) Tlalnepantla (Noroeste), 2) San Agustín (Noreste), 3) La Merced (Centro), 4) Coyoacán (Suroeste) e 5) Iztapalapa (Sureste). Los musgos utilizados como testigo, se mantuvieron en el CCA en una cámara de crecimiento a temperatura y humedad controladas.



Figura. 5 Soporte con bolsas de musgo expuestas al ambiente

Mantenimiento de musgos

Los musgos de las distintas estaciones fueron regados cada tercer día (Fig. 6) durante todo el periodo de exposición.



Figura. 6 Regado por aspersión de bolsas de musgos

Exposición a la atmósfera

Los musgos se expusieron a la atmósfera durante 30 días en los meses de noviembre y diciembre de 2016 y enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio de 2017. Además de ello, otros fueron expuestos durante todo el periodo de 8 meses (noviembre de 2016 a junio de 2017).

Procesamiento de las muestras

Al final de cada mes de exposición, las muestras fueron retiradas de las distintas estaciones de monitoreo (Fig. 7) y se trasladaron al CCA para su procesamiento. A las bolsas se le retiró el musgo y posteriormente se realizó una limpieza (Fig. 8), la cual consistió en separar el musgo de su sustrato, quitar tierra y basura. Al terminar dicha limpieza (Fig. 9) el musgo fue dividido en dos partes iguales; una de ellas fue

lavada y otra no. Posteriormente, las muestras fueron congeladas para la obtención de extractos. Este procedimiento se realizó al terminar cada periodo de exposición y también a los expuestos desde noviembre de 2016 a junio de 2017.



Figura. 7 Retiro de bolsas de musgo para su transporte al CCA



Figura. 8 Limpieza de musgo



Figura. 9 Musgo *Hypnum amabile* limpio

Extractos

Para realizar los extractos de los musgos de cada uno de los meses y de los expuestos durante los 8 meses, se pesaron 10 gramos de cada muestra y posteriormente se colocaron en un mortero frío, se le agregó 10 mL de amortiguador de fosfatos (pH 7.4) y polvos antioxidantes (polivinilpolipirrolidona). Después, fueron machacados y colocados en un extractor de jugos casero en donde se obtuvo la fase acuosa con una jeringa fría y se centrifugaron a 11500 rpm durante 30 minutos a 4 °C. Transcurrido ese tiempo se extrajo el sobrenadante con jeringas de 10 mL, en un campo estéril, se colocaron filtros Millipore a cada jeringa y el sobrenadante fue filtrado y colocado en crioviales de 2 mL que fueron almacenados en un ultra congelador a -70 °C para su posterior uso.

Determinación de metales pesados

Para la determinación de metales pesados presentes en los extractos, se retiraron una parte de las muestras del ultra congelador para descongelarlas. Posteriormente, fueron filtradas con Millipore y se tomó 1mL para el análisis químico. Todas las mediciones se realizaron por el método espectrometría de masas con fuente de plasma acoplado inductivamente (por sus siglas en ingles ICP-MS), modelo iCAP Qc de la marca Thermo Scientific, con el apoyo del personal del Laboratorio ICP-MS del Instituto de Geofísica de la UNAM. El equipo fue optimizado previamente al análisis de las muestras, con una solución certificada acuosa de la marca “High Purity Standards (ICP-MS-B)”, la cual contiene un amplio intervalo de masas (Li, Co, In, Ba, Bi, Ce y U de 1µg/L, respectivamente).

Para el análisis de metales, se realizó una curva de calibración con 16 puntos (0, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 2.5, 5, 7.5, 10, 25, 50, 75, 100, 250 y 500 µg L-1), a partir de una solución “stock” multielemental (QCS-26).

El instrumental se corrigió con el estándar interno Indio (In de 10 µg/L). Los límites de detección se calcularon mediante la siguiente ecuación:

$$L.D. = \frac{3(SD \text{ int } BCO)(conc \text{ STD})}{(int \text{ STD} - prom \text{ int } BCO)}$$

Dónde:

SD int BCO- Desviación estándar de la intensidad del blanco

conc STD- Concentración de la solución estándar

int STD- Intensidad de la solución estándar

prom int BCO- Promedio de la intensidad del blanco

Determinación de los hidrocarburos aromáticos policíclicos

Para la obtención de los HAPs, se contó con el apoyo del personal del laboratorio de Especiación Química de Aerosoles Orgánicos del Centro de Ciencias de la Atmósfera, se llevaron a cabo tres extracciones: una líquido-líquido para buscar HAPs adsorbidos a la superficie de los musgos (musgos lavados), una segunda extracción líquido-sólido de los musgos lavados para buscar HAPs absorbidos y una tercera extracción (líquido-sólido) del musgo completo. En todos los casos, se extrajeron 20.0 g de musgo fortificados con 16 HAP-deuterados.

Para la primera extracción, se adicionaron 500 mL de agua a los musgos, se agitaron durante un minuto y se extrajeron con 25 mL de diclorometano en embudos de separación. Esto se repitió tres veces. El disolvente en exceso se eliminó en un rotaevaporador. El extracto orgánico se llevó a un volumen final de 1.0 mL.

Para la extracción líquido-sólido tanto del musgo lavado (remanente) como del musgo completo, se tomaron 20 g, se adicionaron 16 HAPs deuterados y se extrajeron en la celda a microescala modificada, empleando 50 mL de

diclorometano. En los tres casos, se aforo final a 1 mL, se tomó una alícuota de 80 μ L y se adicionó otra de 20 μ L con 6 HAPs fluorados como estándares internos. El análisis instrumental se llevó a cabo por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (Agilent technologies (6890)).

Aislamiento de linfocitos

Se realizaron pruebas preliminares con tres donadores sanos que firmaron una carta de consentimiento informado (Anexo 1) sin encontrar diferencias significativas entre ellos, debido a ello y al gran número de muestras, se eligió uno al azar para todo el estudio.

Para llevar a cabo el aislamiento de los linfocitos humanos, se extrajeron 7 mL de sangre del donador con una jeringa estéril y heparinizada, se mezcló con 7 mL de solución salina de Hank's (Gibco) y se agregó a dos tubos con 3.5 mL de LymphoprepTM (Axis – Shield PoC As) que fueron centrifugados a 2010 rpm durante 20 minutos, transcurrido dicho tiempo, con ayuda de una pipeta Pasteur se retiró la capa intermedia de los tubos centrifugados (linfocitos) y se agregó en 10 mL de solución salina de Hank's para después centrifugar a 1500 rpm durante 10 minutos. Se retiró el sobrenadante y se le agregó 10 mL de la solución salina, se centrifugó nuevamente a 1500 rpm durante 10 minutos. Se resuspendió el sedimento en 3.5 mL de medio RPMI 1640 (Gibco) y el tubo se introdujo a la incubadora a 37 °C (todo lo anterior se realizó en condiciones de esterilidad con materiales y soluciones estériles).

Determinación de viabilidad y conteo celular

La viabilidad de los linfocitos se obtuvo por la técnica de tinción dual (bromuro de etidio-5,6-carboxiacetato de fluoresceína), se realizó poniendo en un microtubo 10 μ L de colorante dual mezclado con la misma cantidad de suspensión celular. Se incubó 7 minutos a 37 °C y se tomaron 10 μ L del sedimento para observar al

microscopio de fluorescencia. Se determinó el porcentaje de viabilidad tomando en cuenta que células verdes como vivas y las de color rojo como muertas.

La viabilidad adecuada para utilizar células para un experimento fue arriba del 90%. Posteriormente, se estableció el número de células por mL, empleando una Cámara de Neubauer.

Ensayo Cometa versión alcalina

Para determinar el daño al DNA que causaron los extractos de los musgos expuestos a la atmósfera de diferentes sitios de la AMCM, se hicieron varias pruebas preliminares. Se expusieron por 24 horas, linfocitos aislados de un donador sano al extracto de musgo testigo con el fin de determinar una concentración en la cual no se presentara ni citotoxicidad ni genotoxicidad. El daño al DNA se verificó mediante el ensayo de electroforesis unicelular versión alcalina. Para ello se utilizaron 48000 células en un volumen final de 900 μ L. A los microtubos de 1.5 mL se les agregó medio RPMI 1640, la concentración de extracto obtenido de los musgos secos y lavados: a) 5% de volumen total, b) 7.5% de volumen total y c) 10% de volumen total y linfocitos aislados. Se les dejó en tratamiento durante 24 horas a una temperatura de 37 °C y al finalizar dicho tiempo los microtubos fueron centrifugados a 2000 rpm durante 5 minutos, después se les retiró el sobrenadante y el botón fue resuspendido. Cada preparación se hizo mezclando 10 μ L del botón celular con 75 μ L de agarosa (0.5%) de bajo punto de fusión (LMPA por sus siglas en inglés) a 37 °C, con una micropipeta se goteó la mezcla en un cubre objetos, después se empalmó suavemente el porta objetos (previamente cubierto con agarosa de punto de fusión normal (0.5%)). Se colocó en una placa metálica fría hasta la solidificación de la agarosa y se puso otra capa. Se retiró el cubreobjetos de las preparaciones y se pusieron en solución de lisis (NaCl 2.5M, EDTA 100 mM, Tris 10 mM, pH= 10, Tritón X-100 1%, DMSO 10%) fría, en una caja cubierta de la luz (a partir de este punto todo lo demás se realizó en oscuridad), se sometió a

refrigeración y se esperó una hora. Ya transcurrido ese tiempo la solución de lisis fue retirada, se limpiaron las laminillas de la parte posterior y fueron colocadas en una cámara de electroforesis horizontal, se agregó amortiguador de electroforesis frío (pH>13) dejándose incubar durante 18 minutos para lograr el desenrollamiento del DNA y después iniciar la electroforesis a 25 volts y 300 mA por 20 minutos (durante la electroforesis el DNA fragmentado (-) migra hacia el ánodo (+)). Al finalizar la electroforesis, se sacaron las laminillas y se pasaron a una charola para neutralizarlas con amortiguador Tris 0.4 M durante 5 minutos repitiendo el lavado 3 veces. Posteriormente las laminillas se fijaron con etanol frío durante 5 minutos. Se dejaron secar y se tiñeron con 50 µL de bromuro de etidio (2 µg/mL) en condiciones de oscuridad. Las preparaciones se analizaron en un microscopio de fluorescencia Axiostar Plus (Zeiss) con un filtro de excitación de 515-560 nm y una barrera de 590 nm acoplado al programa Comet Assay IV en un aumento de 40X. Mediante el analizador de imágenes se capturaron 50 núcleos por laminilla (3) por tratamiento, el cual determina diversos parámetros de daño al DNA, de los que se eligió el momento de la cauda, que es el producto de la longitud por la intensidad de la misma.

Con base en los resultados de los experimentos preliminares se determinó que la concentración de los extractos a probar era de 10% del volumen total. Se evaluó la viabilidad celular post tratamiento con el fin de asegurar que dicha concentración no causara muerte celular; en el caso del testigo lavado la viabilidad fue del 93% y en el caso del testigo no lavado la viabilidad fue del 91% probando así que dicha concentración no fue citotóxica en el tiempo de exposición.

La metodología del ensayo cometa se utilizó para todos los extractos de musgo (no lavados y lavados) de las cinco estaciones, pertenecientes a todos los meses de exposición (noviembre y diciembre de 2016, enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio de 2017 y a los expuestos durante los 8 meses noviembre a junio).

En todos los experimentos se utilizaron un testigo negativo (linfocitos en medio de cultivo) y un testigo positivo (linfocitos expuestos a bleomicina (10 µg/mL)) con el fin de asegurarse que las condiciones metodológicas fueran las adecuadas.

Análisis estadístico

Para el análisis de datos del momento de la cauda, se calculó la media, la desviación estándar y el error estándar, se compararon los extractos (de los musgos no lavados y lavados) de las distintas estaciones de exposición con respecto a su testigo, con un ANOVA de una vía utilizando el programa Statistica considerando diferencias significativas $p < 0.05$ (confianza del 95%), cuando existieron diferencias significativas entre al menos una estación, se realizó una prueba post hoc Tukey.

Para analizar si existió correlación entre los metales pesados, los HAPs y los contaminantes registrados por el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la CDMX con el momento de la cauda (daño genotóxico) se realizó una regresión lineal múltiple utilizando el programa Statistica.

Resultados

Momento de la cauda en la exposición a extractos de musgos por mes

Por extracto de cada estación (por cada mes de exposición y el acumulado), se obtuvo el momento de la cauda de 150 núcleos (Figs. 10 y 11), mediante el programa Comet Assay IV. Este parámetro de daño es el producto de la intensidad de la cauda por la migración de la misma, se eligió porque proporciona información más completa sobre el daño al DNA.



Figura. 10 Núcleo de linfocito sin daño en el DNA "intacto"

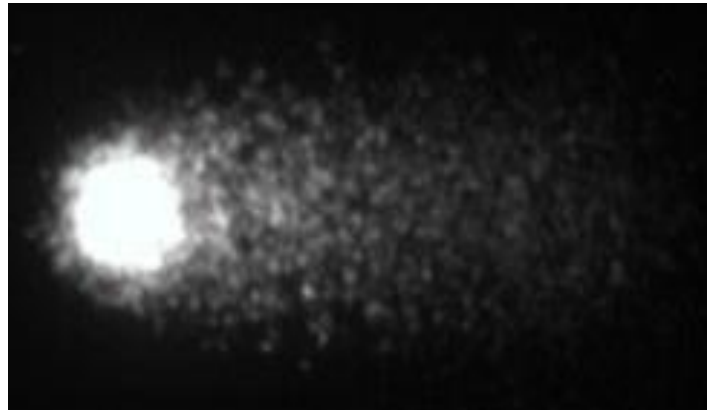


Figura. 11 Núcleo con daño en el DNA "cometa"

Extracto de musgo no lavado

Durante el mes de noviembre (temporada de secas frías), sólo se encontró diferencias significativas en Tlalnepantla con respecto al testigo, cuyo valor del momento de la cauda fue el más elevado, determinando así una mayor genotoxicidad (Fig. 12).

En el mes de diciembre (temporada de secas frías), se encontraron diferencias significativas entre todas las estaciones con respecto al testigo; el valor más elevado se registró en Coyoacán, seguido por La Merced, San Agustín, Iztapalapa y por último Tlalnepantla (Fig. 12).

En el mes de enero (temporada de secas frías), sólo se encontraron diferencias significativas en San Agustín con respecto al testigo (Fig. 12).

En el mes de febrero (temporada de secas calientes), sólo se encontró diferencias significativas en San Agustín con respecto al testigo, cuyo valor del momento de la cauda fue el más elevado, provocando así una mayor genotoxicidad (Fig. 12).

En el mes de marzo (temporada de secas calientes), se encontraron diferencias significativas en La Merced y Tlalnepantla (promedio más alto) con respecto al testigo (Fig. 12).

En el mes de abril (temporada de secas calientes), no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las estaciones con respecto a sus testigos (Fig. 12).

En el mes de mayo (temporada de lluvias), se encontraron diferencias significativas en Tlalnepantla y Coyoacán (promedio más alto) con respecto al testigo (Fig. 12).

En el mes de junio (temporada de lluvias), se encontraron diferencias significativas en Coyoacán, Iztapalapa, La Merced y Tlalnepantla (promedio más alto) con respecto al testigo (Fig. 12).

Durante los 8 meses de exposición “acumulado”, se observaron diferencias significativas en Coyoacán, La Merced, San Agustín y Tlalnepantla (promedio más alto) con respecto al testigo (Fig. 12).

Comparando todos los meses de exposición, se encontró que en las muestras expuestas en diciembre se presentaron los valores más altos en el momento de la cauda, seguido por junio, marzo, mayo, febrero, noviembre, enero y abril el cual se encuentra como el mes con los valores más bajos. El extracto de los musgos correspondientes a Tlalnepantla presenta diferencias significativas en los valores

del momento de la cauda con respecto al testigo en 6 de los 9 periodos de exposición, mientras que los extractos de musgos expuestos en Coyoacán, La Merced y San Agustín las presentan en 4 de los 9 periodos y por último los de Iztapalapa sólo muestran diferencias significativas en 2 de los 9 periodos de exposición (Fig. 12).

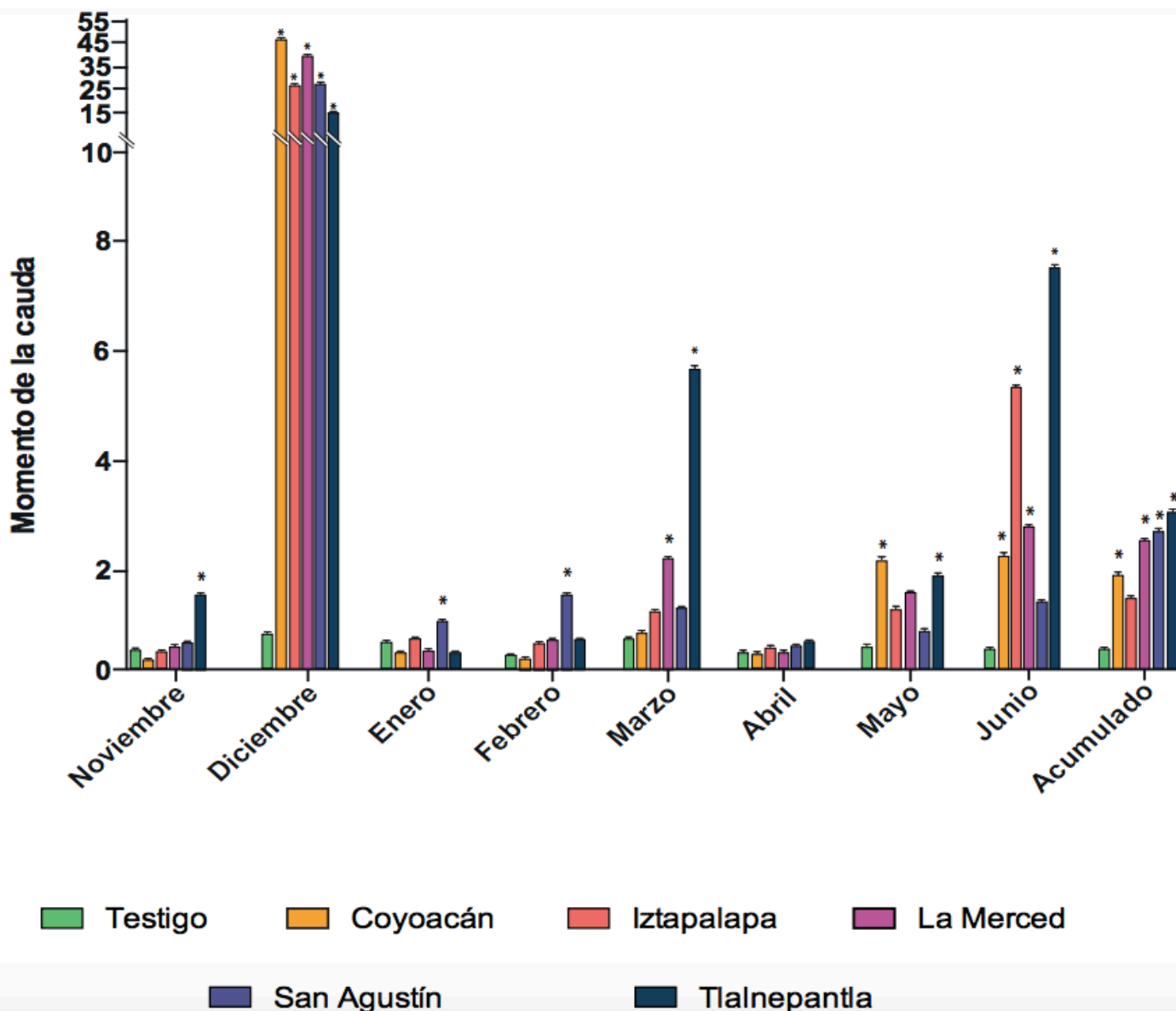


Figura. 12 Promedio del momento de la cauda \pm error estándar de linfocitos tratados con extracto “no lavado” del musgo *Hypnum amabile* expuesto durante 8 meses (noviembre de 2016-junio 2017) en diversas estaciones del área metropolitana de la Ciudad de México. * Indica diferencias significativas entre los extractos expuestos en las distintas estaciones con respecto a su testigo. ANOVA, post hoc Tukey $p < 0.05$, con una confianza del 95%.

Extractos de musgo lavados

Durante el mes de noviembre, no se encontró diferencias significativas en ninguna estación con respecto al testigo (Fig. 13).

En el mes de diciembre, en las cinco estaciones, todos los valores del momento de la cauda fueron menores en comparación a los no lavados, además de ello también se encontraron diferencias significativas en todas las estaciones con respecto al testigo (Fig. 13).

En el mes de enero se encontraron diferencias significativas en Coyoacán e Iztapalapa con respecto al testigo (Fig. 13). En las estaciones de Coyoacán, Iztapalapa, La Merced y Tlalnepantla el valor del momento de la cauda fue mayor en los extractos de los musgos “lavados” en comparación con los “no lavados”.

En el mes de febrero, no se evidenciaron diferencias significativas en ninguna estación con respecto al testigo (Fig. 13). Además de ello, todas las estaciones de exposición presentaron un valor más alto en los extractos de los musgos “no lavados” con respecto a los “lavados”.

En el mes de marzo, sólo se encontraron diferencias significativas en Tlalnepantla con respecto al testigo (Fig. 13), además todas las estaciones de exposición presentaron un valor más alto en los extractos de los musgos “no lavados” con respecto a los “lavados”.

En el mes de abril, no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las estaciones con respecto a sus testigos (Fig. 13), todas las estaciones de exposición presentaron un valor más alto en los extractos de los musgos “no lavados” con respecto a los “lavados”.

En el mes de mayo, no se observaron diferencias significativas en ninguna de las estaciones con respecto al testigo (Fig. 13). Comparando el momento de la cauda entre extractos de los musgos “no lavados” y “lavados” sólo en el caso de San Agustín es más alto el “lavado” en comparación con el “no lavado”.

En el mes de junio, sólo se encontraron diferencias significativas en Coyoacán con respecto al testigo (Fig. 13), todas las estaciones de exposición presentaron un valor más alto en los extractos de los musgos “no lavados” con respecto a los “lavados”.

Durante los 8 meses de exposición “acumulado”, se encontraron diferencias significativas en San Agustín y Tlalnepantla (Fig. 13). Todas las estaciones de exposición presentaron un valor más alto en los extractos de los musgos “no lavados” con respecto a los “lavados”.

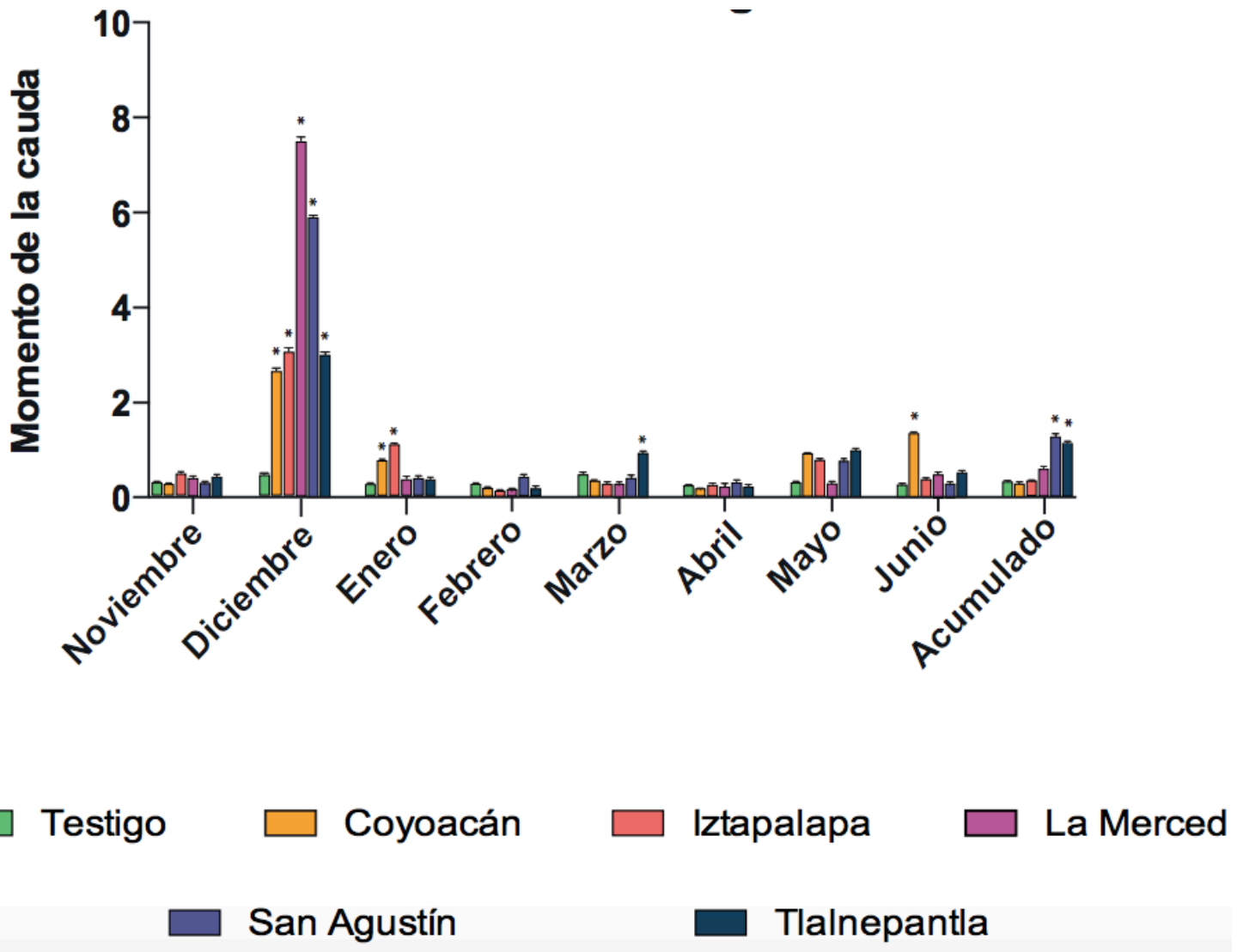


Figura. 13 Promedio del momento de la cauda \pm error estándar de linfocitos tratados con extracto “lavado” del musgo *Hypnum amabile* expuesto durante 8 meses (noviembre de 2016-junio 2017) en diversas estaciones del área metropolitana de la Ciudad de México. * Indica diferencias significativas entre los extractos expuestos en las distintas estaciones con respecto a su testigo. ANOVA, post hoc Tukey $p < 0.05$, con una confianza del 95%.

Los metales pesados acumulados en los extractos de los musgos “no lavados” y “lavados” en las 5 estaciones durante todos los periodos de exposición fueron: aluminio (Al), vanadio (V), cromo (Cr), manganeso (Mn), hierro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc (Zn), arsénico (As), molibdeno (Mo), cadmio (Cd), antimonio (Sb) y plomo (Pb) (Anexo 2).

Los HAPs detectados en los extractos de los musgos “no lavados” y “lavados” en las 5 estaciones durante todos los periodos de exposición son: naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, 2-metilantraceno, 1-metilantraceno, 4,5-metilenfenantreno, 9-metilantraceno, 3,6-dimetilfenantreno, fluoranteno, 9,10-dimetilantraceno, pireno, reteno, Ttipticeno, benzo[a]fluoreno, benzo[a]antraceno, trifenileno, ciclopenta[c,d]pireno, criseno, 5-metilcriseno, 7,12-dimetilbenzo[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, benzo[j]fluoranteno, benzo[e]pireno, benzo[a]pireno, perileno, dibenzo[a,h]antraceno, dibenzo[a,c]antraceno, indeno[1,2,3-cd]pireno y benzo[ghi]perileno (Anexo 3).

Se recabaron los datos de los contaminantes procedentes del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la CDMX en las 5 estaciones durante todos los periodos de exposición; óxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O₃), PM₁₀, PM_{2,5}, partículas fracción gruesa o coarse (PMCO) y dióxido de azufre (SO₂) y se correlacionaron en el momento de la cauda.

Correlación de los contaminantes ambientales específicos con el momento de la cauda

En el mes de noviembre para los metales pesados se encontró una correlación negativa estadísticamente significativa entre el momento de la cauda (daño genotóxico) con V y Cr ($R^2=0.85$, $p<0.05$) lo cual significa que entre menor fue la concentración de estos metales, se generó mayor daño. En el caso de los HAPs se notó una correlación estadísticamente significativa entre el momento de la cauda con el 1-metilantraceno ($R^2=0.92$, $p=0.009$) y esto concuerda con que en Tlalnepantla (única estación en la que se presentan diferencias significativas respecto al testigo) es la única en que se halló este hidrocarburo. No hubo correlación entre los contaminantes obtenidos por la RAMA con el momento de la cauda.

En diciembre para los metales pesados se encontró una correlación estadísticamente significativa entre el momento de la cauda con Al ($R^2=0.78$, $p=0.019$) y con Cd ($R^2=0.66$, $p=0.048$), en la estación de Coyoacán (donde se presentaron los valores más altos en el momento de la cauda) y se manifestaron estos dos metales en sus valores más elevados. En el caso de los HAPs se encontró una correlación negativa estadísticamente significativa entre el momento de la cauda con el perileno ($R^2=0.79$, $p=0.040$) lo cual coincide con el hecho de que entre menos hidrocarburo había, se encontró mayor daño. No hubo correlación entre los contaminantes obtenidos por la RAMA con el momento de la cauda.

En el mes de enero las estaciones que presentaron diferencias significativas respecto al testigo evidenciaron las concentraciones más altas de metales pesados, además de ello se encontró una correlación estadísticamente significativa entre el momento de la cauda con Ni ($R^2=0.74$, $p=0.026$) y esto concuerda en la estación de San Agustín, ya que presenta los valores más altos de este metal.

Por otra parte, Iztapalapa que mostró diferencias significativas con respecto al testigo en los extractos de los musgos “lavados” también evidencia los valores más altos de metales pesados. En el caso de los HAPs se encontró una correlación negativa estadísticamente significativa entre el momento de la cauda con el criseno ($R^2=0.91$, $p=0.011$) y eso coincide con el hecho de que entre menos hidrocarburo se detectó, se encontró mayor daño. No hubo correlación entre los contaminantes obtenidos por la RAMA con el momento de la cauda.

En el mes de febrero en el caso de los metales pesados se encontró una correlación negativa estadísticamente significativa entre el momento de la cauda con Mo, Cd, Sb y Pb ($R^2=0.99$, $p=0.024$), la presencia de estos 4 metales en cantidades pequeñas se correlaciona con un mayor daño, lo anterior coincide en la estación de San Agustín única en presentar diferencias significativas con respecto a su testigo. En el caso de los HAPs se evidenció una correlación estadísticamente significativa

entre el momento de la cauda con benzo[a]antraceno y benzo[ghi]perileno ($R^2=0.94$, $p<0.05$) esto coincide en San Agustín donde se observan los valores más altos de estos hidrocarburos. No hubo correlación entre los contaminantes obtenidos por la RAMA con el momento de la cauda.

En el mes de marzo en el caso de los metales pesados se encontró una correlación estadísticamente significativa entre el momento de la cauda con Al ($R^2=0.76$, $p=0.022$), Cr ($R^2=0.72$, $p=0.031$), Ni ($R^2=0.84$, $p=0.010$), Zn ($R^2=0.87$, $p=0.006$) y Pb ($R^2=0.79$, $p=0.017$) esto coincide con Tlalnepantla que es la estación que presenta el mayor daño y los mayores valores de la mayoría de los metales incluyendo a los 5 mencionados. En el caso de los HAPs se obtuvo una correlación estadísticamente significativa entre el momento de la cauda con fenantreno ($R^2=0.81$, $p=0.035$), antraceno ($R^2=0.92$, $p=0.009$), 9-metilantraceno ($R^2=0.78$, $p=0.046$) y dibenzo[a,h]antraceno ($R^2=0.93$, $p=0.0067$) esto coincide en Tlalnepantla ya que presenta los valores más altos de estos hidrocarburos. En el caso de los contaminantes obtenidos por la RAMA se notó una correlación estadísticamente significativa entre el momento de la cauda con el SO_2 ($R^2=0.78$, $p=0.044$) esto coincide en Tlalnepantla ya que presenta el valor más alto, seguido por La Merced.

En el mes de mayo a pesar de presentar los valores más altos de contaminantes del sistema de monitoreo, no se percibió correlación estadísticamente significativa entre el momento de la cauda con metales pesados, con HAPs y con contaminantes obtenidos por la RAMA.

En el mes de junio para los metales pesados se notó una correlación estadísticamente significativa entre el momento de la cauda con Mo, Cd y Pb ($R^2=0.99$, $p=0.007$). En el caso de HAPs se presentan los valores más altos, además de ello se apreció una correlación estadísticamente significativa entre el momento de la cauda con acenafteno y acenaftileno ($R^2=0.93$, $p<0.05$). Los valores más altos de metales (coinciden en Tlalnepantla y La Merced) y de hidrocarburos (coinciden

en Iztapalapa y Coyoacán). No hubo correlación entre los contaminantes obtenidos por la RAMA con el momento de la cauda.

En el acumulado en el caso de los metales pesados se encontró una correlación estadísticamente significativa entre el momento de la cauda con Al y Cr ($R^2=0.93$, $P=0.017$), Al y V ($R^2=0.87$, $p=0.042$). En el caso de los HAPs se observó una correlación estadísticamente significativa entre el momento de la cauda con fluoreno ($R^2=0.85$, $p=0.02$) y con criseno ($R^2=0.86$, $p=0.02$). Los metales y los HPAs mencionados coinciden con las estaciones que presentan diferencias significativas con respecto al testigo en el momento de la cauda. En el caso de los contaminantes obtenidos por la RAMA se obtuvo una correlación estadísticamente significativa entre el momento de la cauda con PM_{10} ($R^2=0.83$, $p=0.02$) que coincide con La Merced y PMCO ($R^2=0.85$, $p=0.02$) que corresponde con Tlalnepantla.

Discusión

En el ambiente existen muchos componentes que se encuentran constantemente interactuando con los organismos vivos, esto incluye a los seres humanos. Según datos de la OMS la contaminación ambiental ha sido declarada como perjudicial para la salud, sin embargo, la contribución del ambiente y la forma en que afecta aún no ha sido completamente explicado. En este trabajo se utilizó al musgo como un organismo bioacumulador de componentes ambientales, y debido que en la mayoría de los casos, los musgos no lavados provocaron un mayor daño al DNA en comparación de los lavados, sugiere que al lavar los musgos se retiraron contaminantes acumulados con potencial genotóxico, destacando la capacidad de *H. amabile* como un organismo bioacumulador idóneo, con lo anterior se logró evaluar el daño genotóxico de compuestos acumulados, en células humanas. La exposición a estos contaminantes puede aumentar el riesgo de desarrollar una

gama muy grande de patologías y la genotoxicidad es particularmente importante en la fisiopatología de diversos padecimientos.

El daño al DNA, mediante los ensayos cometa y de micronúcleos, se ha medido en diferentes enfermedades, por ejemplo: en pacientes con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (COPD); en el diagnóstico preventivo del cáncer; en la obesidad, la diabetes y las enfermedades cardiovasculares, etc. De igual forma, una gran cantidad de estudios epidemiológicos relacionan a los contaminantes ambientales con la salud humana, por ejemplo: los metales han sido asociados principalmente con enfermedades respiratorias, neurodegenerativas y con el cáncer; el material particulado con enfermedades respiratorias y reproductivas y los HAPs con enfermedades respiratorias y el cáncer.

Entre los HAPs que presentan una posible actividad genotóxica en linfocitos humanos se encuentran el 1-Metilantraceno, Perileno, Criseno*, Benzo[a]antraceno* en presencia de Benzo[ghi]perileno, Fenantreno*, Antraceno*, 9-Metilantraceno, Dibenzo[a,h]antraceno*, Acenafteno en presencia de Acenaftileno y Fluoreno. (*) Se encuentran clasificados por la IARC como probables y posibles carcinógenos para el humano (83). Los daños causados en el DNA por metabolitos reactivos de algunos HAPs se describen con la unión covalente del DNA para formar aductos estables o depurantes, la formación de sitios apurínicos y el daño oxidante (37). Los aductos de DNA formados por los carcinógenos finales de los HAPs son potencialmente tóxicos, mutagénicos y carcinogénicos (84). Entre los metales pesados que presentan una posible actividad genotóxica en linfocitos humanos se encuentran el Al, Cr, Cd, Pb, V, Ni, Mo, Sb y Zn. Debido a su alto grado de toxicidad, el Cd, Cr y Pb se consideran entre los metales prioritarios de importancia en salud pública, se han clasificados como carcinógenos humanos (conocidos o probables) según la Agencia de Protección Ambiental de EUA y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (85). Algunos iones metálicos producen especies reactivas de oxígeno (ROS) intracelulares de forma directa o indirecta. La reacción tipo Fenton es uno de los mecanismos más

conocidos en donde un ion metálico en transición reacciona con H_2O_2 para generar OH^\cdot altamente tóxico y un ion metálico oxidado, algunos metales como Fe, Cu, Cr, Co, Ni y V pueden generar radicales libres mediante ésta reacción (86). Otro mecanismo en la generación de ROS inducida por metales es la reacción Haber Weiss en la cual O_2^\cdot media la generación de OH^\cdot a partir de H_2O_2 y también participa en la reducción de Fe conduciendo a la reacción Fenton. La reacción Haber Weiss puede involucrar metales como Cr, V y Co (87, 88).

Sin embargo, la exposición real que tienen las personas y el daño genotóxico que puede causar a células humanas es poco estudiado, sobre todo en México. Existen antecedentes, algunos estudios son: el realizado con un polvo derivado de una planta de Al electrolítica, aumenta la presencia de micronúcleos en linfocitos humanos (89). En un estudio al evaluar la coexposición a Cd, Co y Pb se analizó la inducción y reparación de cadena sencilla del DNA en células sanguíneas mononucleares; los resultados mostraron que el Co y el Cd en el aire, y el Cd y Pb en la sangre, influyen en el nivel de ruptura de cadena sencilla en el DNA (90). En el 2015 en la región de La Mojana, Colombia Calao se encontraron asociaciones significativas entre la presencia de mercurio y de cadmio en sangre con el daño en el DNA mediante el ensayo cometa en condiciones alcalinas (91); los efectos genotóxicos, clastogénicos y citotóxicos del cloruro de aluminio ($AlCl_3$) incrementan en cultivos temporales de linfocitos humanos, parámetros evaluados mediante el ensayo cometa en diferentes fases del ciclo celular (92); los linfocitos extraídos de curadores de pieles que son expuestos a cromo trivalente presentaron una mayor cantidad de micronúcleos con respecto al grupo testigo (93). Los HAPs generan micronúcleos en células de hígado inmortalizadas (94). Las PM_{10} de tres sitios de Valle de Aburrá están asociados con el daño genotóxico, evaluado mediante ensayo cometa, en linfocitos humanos (95).

En el presente estudio, la zona de Tlalnepantla fue la que presentó el mayor daño genotóxico generado por los extractos de los musgos en 6 de los 8 meses evaluados y el acumulado. Según datos de la OMS está localidad se encuentra entre unas de

las cuatro más contaminadas del país. Por otro lado, es una de las localidades más vulnerables a desarrollar enfermedades respiratorias; lo cual se ha asociado a la contaminación generada por ser una zona altamente industrializada y con un constante afluente de vehículos automotores y ferrocarriles, sin mencionar la preocupante contaminación de los ríos debido a la descarga de aguas negras por parte de las industrias (96,97). La exposición crónica a los distintos contaminantes de los habitantes de esta localidad y la asociación que se tiene con enfermedades respiratorias puede ser explicada por diversos mecanismos que involucran al daño genotóxico debido al estrés oxidante causado por diferentes contaminantes, por ejemplo, el AI que se asocia al momento de la cauda en los meses de diciembre, marzo y en el acumulado, ha sido asociado fuertemente con enfermedades respiratorias y neurodegenerativas (98,99), los mecanismos por los que actúan éste y otros metales pesados aún no están completamente dilucidados, sin embargo, se han propuesto distintos modelos por los que los metales pesados inducen estrés oxidante que lleva al desarrollo de las patologías antes mencionadas; generan especies reactivas de oxígeno (ROS) que son capaces de causar daño en biomoléculas, mutaciones, cambios en la expresión de diversos genes y disrupción de las señales de crecimiento, los receptores de factores de transcripción juegan un papel importante en la transmisión de señales desde el exterior hasta el citoplasma y núcleo celular. La exposición de algunos metales puede afectar los receptores, que a su vez, pueden actuar como efectores río arriba de moléculas de señalización implicadas en la diferenciación, proliferación y supervivencia celular (100). Existen quinasas relacionadas en la transducción de señales inducidas por metales: MAPKs, fosfatidilinositol 3-quinasa (PI3K), proteína quinasa C (PKC) y Src. Las MAPKs participan en vías de transducción de señales actuando como mediadores río arriba de receptores de factor de crecimiento, proteínas G y tirosina quinasas y como mediadores río abajo, de factores de transcripción. La desregulación en su función está relacionada a carcinogénesis (101). Algunos metales pueden afectar la señalización de las MAPKs, un ejemplo de ello es el As que puede activarlas en algunas líneas celulares humanas (102). Por otro lado, la activación de PI3K y de Akt (mediador río abajo) desencadena fosforilación, que como resultado, da la

activación de vías de señalización involucradas en crecimiento celular e inhibición de apoptosis (103), metales como Cu, Zn y Ni se han mostrado como activadores de la vía PI3K/Akt en varios tipos de células (104).

En cuanto a la correlación de los contaminantes ambientales específicos con el momento de la cauda para el caso del mes de diciembre se presentan los valores más altos de metales pesados y del momento de la cauda, lo anterior se atribuye a que en este mes se presenta la época de celebraciones navideñas, lo cual conlleva a un mayor tráfico vehicular, quema de fuegos pirotécnicos, etc. Otro aspecto importante a considerar es el clima (secas frías), ya que los resultados de este trabajo coinciden con un estudio realizado en la Ciudad de México en donde se evaluó la genotoxicidad de material orgánico extraído (PM10) recolectado durante tres periodos distintos, los resultados mostraron una mayor genotoxicidad en la temporada de secas frías comparado con la de secas calientes (105).

El hecho de que los musgos hayan acumulado estos contaminantes implica un riesgo potencial a desarrollar diversas enfermedades, además el daño genotóxico que causan los extractos de los musgos a las células humanas es preocupante porque las poblaciones expuestas podrían estar siendo afectadas de manera crónica; por lo tanto, es importante estudios más a fondo que permitan detectar este daño en individuos de las localidades que presentaron una mayor exposición y así tomar medidas para que este problema no se haga más grave a largo plazo. Otro de los aspectos relevantes a considerar es que no en todos los casos se correlaciona el momento de la cauda con los contaminantes registrados en el sistema de monitoreo ambiental, por lo que posiblemente, debido al hecho de que se encuentran formando una mezcla compleja, se pueden estar llevando a cabo interacciones antagónicas o sinérgicas, que hacen todavía más difícil adjuntarle a alguno de ellos el daño genotóxico.

Por lo anterior, la investigación del efecto carcinógeno o mutagénico de mezclas complejas de contaminantes atmosféricos no es una tarea fácil (92) pero es de

importancia vital para conocer los efectos sobre la salud humana, para ello es adecuado contar con un sistema que pueda monitorear y acumular dichos contaminantes y probarlos en células humanas.

Si bien los resultados muestran una actividad genotóxica de los extractos probados en linfocitos humanos, los efectos de dichos contaminantes sobre la salud humana dependerán de las interacciones químicas generadas entre ellos, de sus características biológicas y químicas, tiempo de exposición, condiciones ambientales, etc.

Por ser uno de los primeros trabajos sobre genotoxicidad de extractos de un organismo bioacumulador expuesto a la atmósfera, probados en células humanas, hace hincapié en la importancia de implementar diversas técnicas de monitoreo, remediación y efectos de los contaminantes atmosféricos sobre la salud humana.

Conclusión

- Se evaluó el efecto genotóxico de extractos de musgos no lavados y lavados de la especie *Hypnum amabile* expuestos al ambiente en diferentes estaciones de monitoreo en el área metropolitana de la Ciudad de México.
- El mes que presentó la mayor genotoxicidad fue diciembre el cual pertenece a la temporada de secas frías.
- Tlalnepantla (extracto de musgos sin lavar) fue en la que se presentó mayor genotoxicidad durante 6 de los 9 periodos de exposición.
- En la mayoría de los casos los extractos de musgos no lavados presentan una mayor genotoxicidad en comparación con los lavados.
- Se estableció una correlación entre los metales pesados y los HAPs con el momento de la cauda, de lo cual se encontró una posible actividad genotóxica de 9 metales pesados y 12 HAPs abriendo la posibilidad de su

estudio por separado y mezclas de ellos para poder entender mejor sus interacciones y efectos genotóxicos.

Referencias

1. Vargas, M. F. (2005). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 117-127.
2. Cooper, C. D. y Alley, F. C. (1986). *Air pollution control: A design approach*, Illinois. USA, Waveland Press.
3. Elsom, D. (1989). *Atmospheric pollution: causes, effects and control policies*, Oxford UK, Brasil Blackwell.
4. Maldonado, J. M. (2009). Ciudades y contaminación ambiental. *Revista de Ingeniería*, (30), 66-71.
5. Vallejo, M., Jáuregui-Renaud, K., Hermosillo, A. G., Márquez, M. F. y Cárdenas, M. (2003). Efectos de la contaminación atmosférica en la salud y su importancia en la Ciudad de México. *Gaceta Médica de México*, 139(1), 57-63.
6. Landeros-Múgica, K. y Ortega-Andeane, P. (2014). Calidad del aire y salud en la Ciudad de México. *Revista Latinoamericana de Medicina Conductual*, 4(1), 1-12.
7. U.S. EPA. Air Quality Criteria for Particulate Matter 1. (1996). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA 600/P-95/001aF.
8. Álvarez, V. M., Lara, J. J. F., y Moreno, A. H. (2010). Evaluación y Seguimiento del Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. *Descripción del PROAIRE*.
9. Villalobos-Pietrini, R., Amador-Muñoz, O., Waliszewski, S., Hernández-Mena, L., Munive-Colín, Z., Gómez-Arroyo, S. y Frías-Villegas, A. (2006). Mutagenicity and polycyclic aromatic hydrocarbons associated with extractable organic matter from airborne particles $\leq 10 \mu\text{m}$ in southwest Mexico City. *Atmospheric Environment*, 40(30), 5845-5857.
10. Quintana, R., Serrano, J., Gómez, V., de Foy, B., Miranda, J., Garcia-Cuellar, C. y Rosas, I. (2011). The oxidative potential and biological effects induced by PM10 obtained in Mexico City and at a receptor site during the MILAGRO Campaign. *Environmental Pollution*, 159(12), 3446-3454.
11. Secretaría del Medio Ambiente (SMA). Inventario de emisiones de contaminantes criterio de la ZMVM 2008. 2010.
12. Molina Center for Strategic Studies in Energy and the Environment. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2013). Capítulo 4: Partículas suspendidas Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/191436/2013_Plan_Nacional_de_Co

[ntaminantes.pdf](#)

13. Bravo, A. H. y Sosa, E. R. (1997). Características de los contaminantes atmosféricos. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/eco/036993-1/036993-1.1.pdf>
14. Querol, X. (2008). Calidad del aire, partículas en suspensión y metales. *Revista Española de Salud Pública*, 82(5), 447-453.
15. Lewtas, J. (1993). Complex mixtures of air pollutants: characterizing the cancer risk of polycyclic organic matter. *Environmental Health Perspectives*, 100, 211.
16. Villalobos-Pietrini, R., Hernández-Mena, L., Amador-Muñoz, O., Munive-Colín, Z., Bravo-Cabrera, J. L., Gómez-Arroyo, S. y Ortiz-Muñiz, R. (2007). Biodirected mutagenic chemical assay of PM 10 extractable organic matter in Southwest México City. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 634(1), 192-204.
17. Smith, K. R., Corvalán, C. F. y Kjellstrom, T. (1999). How much global ill health is attributable to environmental factors? *Epidemiology-Baltimore*, 10(5), 573-584.
18. Comisión Metropolitana Ambiental (CAM). (2010). *Agenda de sustentabilidad ambiental para la Zona Metropolitana del Valle de México*. México: CAM.
19. IARC: outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths (2013): press release (17-10-2013). Disponible en: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/news/news/2013/10/outdoor-air-pollution-a-leading-environmental-cause-of-cancer-deaths>
20. Comisión Metropolitana Ambiental (CAM). (2002). *Programa para mejorar la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010*. México: SEMARNAT.
21. Molina, L. y Molina, M. (2005). *La calidad del aire en la mega ciudad de México. Un enfoque integral*. México: Fondo de Cultura Económica.
22. Secretaria del Medio Ambiente - GDF (SMA-GDF) (2006a). *Gestión ambiental del aire en el Distrito Federal*. México: GDF.
23. U.S. EPA (1996). National ambient air quality standards for particulate matter. Fed Reg 61(241):65638.
24. Dockery, D. W., Pope, C. A., Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E. y Speizer, F. E. (1993). An association between air pollution and mortality in six US cities. *New England Journal of Medicine*, 329(24), 1753-1759.
25. Seaton, A., Godden, D., MacNee, W. y Donaldson, K. (1995). Particulate air pollution and acute health effects. *The Lancet*, 345(8943), 176-178.
26. Oberdörster, G. (1997). Pulmonary carcinogenicity of inhaled particles and the maximum tolerated dose. *Environmental Health Perspectives*, 105(Suppl 5), 1347.
27. Oberdörster, G. J. J. P. N., Ferin, J., Finkelstein, G., Wade, P. y Corson, N. (1990). Increased pulmonary toxicity of ultrafine particles? II. Lung lavage studies. *Journal of Aerosol Science*, 21(3), 384-387.
28. Mauderly, J. L. (1994). *Current concepts on airborne particles and health* (No. CONF-9410236-1). Lovelace Biomedical and Environmental Research Inst.,

- Albuquerque, NM (United States). Inhalation Toxicology Research Institute.
29. Oberdörster, G., Ferin, J., Gelein, R., Soderholm, S. C. y Finkelstein, J. (1992). Role of the alveolar macrophage in lung injury: studies with ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives*, 97, 193.
 30. Biava, P. M., Audisio, R., Centonze, A., Barbieri, A., Bisanti, L. y Duca, G. (1992). An epidemiological study of the health conditions of Milan traffic police with respect to pollution from vehicular traffic. *La Medicina del Lavoro*, 83(3), 249-258.
 31. Zhao, X., Niu, J., Wang, Y., Yan, C., Wang, X. y Wang, J. (1998). Genotoxicity and chronic health effects of automobile exhaust: a study on the traffic policemen in the city of Lanzhou. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 415(3), 185-190.
 32. Villalobos-Pietrini, R., Amador-Muñoz, O., Flores-Márquez, A. R., Guzmán-Rincón, J., Munive-Colín, Z., Hernández-Mena, L., Murillo-Tovar, M., Gómez-Arroyo, S. y Waliszewski, S. M. (2008). Materia orgánica extraída de las aeropartículas de la Ciudad de México y sus efectos genotóxicos. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 11(2), 105-109.
 33. Mastandrea, C., Chichizola, C., Ludueña, B., Sánchez, H., Álvarez, H. y Gutiérrez, A. (2005). Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Riesgos para la salud y marcadores biológicos. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 39(1), 27-36.
 34. Ohura, T. (2007). Environmental behavior, sources, and effects of chlorinated polycyclic aromatic hydrocarbons. *The Scientific World Journal*, 7, 372-380.
 35. Kotin, P., Falk, H. L. y Thomas, M. (1955). Aromatic hydrocarbons. III. Presence in the particulate phase of diesel-engine exhausts and the carcinogenicity of exhaust extracts. *Archieve of Industrial Health*, 11(2), 113-20.
 36. Flowers-Geary, L., Blecinski, W., Harvey, R. G. y Penning, T. M. (1996). Cytotoxicity and mutagenicity of polycyclic aromatic hydrocarbon o-quinones produced by dihydrodiol dehydrogenase. *Chemico-Biological Interactions*, 99(1-3), 55-72.
 37. Xue, W. y Warshawsky, D. (2005). Metabolic activation of polycyclic and heterocyclic aromatic hydrocarbons and DNA damage: a review. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 206(1), 73-93.
 38. Lighty, J. S., Veranth, J. M. y Sarofim, A. F. (2000). Combustion aerosols: factors governing their size and composition and implications to human health. *Journal of the Air Y Waste Management Association*, 50(9), 1565-1618.
 39. Menichini, E. (1999). Current legislation and guidelines on PAHs in ambient air: the Italian experience. *Fresenius Environmental Bulletin*, 8(9), 512-517.
 40. Bolognesi, C., Lando, C., Forni, A., Landini, E, Scarpato, R., Migliore, L. y Bonassi, S. (1999). Chromosomal damage and ageing: effect on micronuclei frequency in peripheral blood lymphocytes. *Age and Ageing*, 28(4), 393-397.
 41. Boström, C. E., Gerde, P., Hanberg, A., Jernström, B., Johansson, C., Kyrklund, T. y Westerholm, R. (2002). Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air. *Environmental Health Perspectives*, 110(Suppl 3), 451.
 42. Eskenazi, B. y Castorina, R. (1999). Association of prenatal maternal or

postnatal child environmental tobacco smoke exposure and neurodevelopmental and behavioral problems in children. *Environmental Health Perspectives*, 107(12), 991.

43. Ferrer, A. (2003). Metal poisoning. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra* 26, 141-153.

44. Alcalá, J. J., Rodríguez, O. J., Villaseñor, Z. M., Hernández, M. A., García, A. M., Beltrán, M. F. y Rodríguez, F. H. (2013). Vegetación bioindicadora de metales pesados en un sistema semiárido. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 45(1), 27-42.

45. International Agency for Research on Cancer (IARC) 2012. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon.

46. Galaris, D. y Evangelou, A. (2002). The role of oxidative stress in mechanisms of metal-induced carcinogenesis. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 42(1), 93-103.

47. Winkler, A., Berkowitz, B., Dror, I. y Yaron B. (2015). Contaminant Geochemistry-interactions and transport in the subsurface environment. *Environmental Earth Sciences*, 73(12), 8715.

48. AAFCO 1996. Association of American Feed Control Officials. Oficial Publication, 1993, pp. 230-236.

49. Nava-Ruiz, C., y Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, 16(3), 140-147.

50. García Lozano, L. C. y Rubiano, O. (1984). Comunidades de líquenes como indicadores de niveles de calidad del aire en Colombia. *Contaminación Ambiental*, 8(13), 73-90.

51. Ariño-Vila, X., Azuaya, T., García, A. y Gómez-Bolea, A. (1997). Els líquens com a bioindicadors de la qualitat atmosfèrica: el cas de la vall de Fumanya. *Butlletí de la Institució. Catalana d'Historia. Natural*. 65, 5-13.

52 Marcelli, M. P., Y Mark, R. D. (Eds.). (1998). *Lichenology in Latin America: history, current knowledge and applications* (Vol. 3). CETESB, Sao Paulo, 1-177.

53. Anze, R., Franken, M., Zaballa, M., Pinto, M. R., Zeballos, G., Cuadros, M. D. L. Á., y Del Granado, S. (2007). Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. *Revista Virtual REDESMA*, 1, 53.

54. Madejón, P. (2003). Elementos traza y nutrientes en álamo blanco tras el vertido tóxico de las minas de Aznalcóllar. *Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales* 12(3), 19-32.

55. Markert, B. (2007). Definitions and principles for bioindication and biomonitoring of trace metals in the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 21, 77-82.

56. Tomašević, M., Rajšić, S., Đorđević, D., Tasić, M., Krstić, J. y Novaković, V. (2004). Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas. *Environmental Chemistry Letters*, 2(3), 151-154.

57. Valencia, A. S. (2014). Briophyta. En: S. Valencia. (Ed.), *Introducción a las embriofitas*. México: UNAM, pp. 127-142

58. Richardson, D. H. S. (1981). *The Biology of Mosses*. Blackwell Scientific Publications. Oxford.

59. Delgadillo-Moya, C. (2014). Biodiversidad de Bryophyta (musgos) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, S100-S105.
60. Asakawa, Y. (2001). Recent advances in phytochemistry of bryophytes-acetogenins, terpenoids and bis (bibenzyl) s from selected Japanese, Taiwanese, New Zealand, Argentinean and European liverworts. *Phytochemistry*, 56(3), 297-312.
61. Zinsmeister, H. D., Becker, H.y Eicher, T. (1991). Bryophytes, a source of biologically active, naturally occurring material?. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 30(2), 130-147.
62. Delgadillo-Moya, C., Cárdenas-Soriano, M. D. L. Á., Gálvez-Aguilar, V. M.y Sánchez-González, A. (2011). Musgos del Parque Nacional Los Mármoles, Hidalgo, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 89, 19-26.
63. Frego, K. A. (2007). Bryophytes as potential indicators of forest integrity. *Forest Ecology and Management*, 242(1), 65-75.
64. Fritz, K. M., Glime, J. M., Hribljan, J.y Greenwood, J. L. (2009). Can bryophytes be used to characterize hydrologic permanence in forested headwater streams?. *Ecological Indicators*, 9(4), 681-692.
65. Laaksovirta, K., Y Olkkonen, H. (1977). Epiphytic lichen vegetation and element contents of *Hypogymnia physodes* and pine needles examined as indicators of air pollution at Kokkola, W Finland. *Annales Botanici Fennici* pp. 112-130.
66. Fine, P., Scagnossi, A., Chen, Y.y Mingelgrin, U. (2005). Practical and mechanistic aspects of the removal of cadmium from aqueous systems using peat. *Environmental Pollution*, 138(2), 358-367.
67. Ringqvist, L., Holmgren, A.y Öborn, I. (2002). Poorly humified peat as an adsorbent for metals in wastewater. *Water Research*, 36(9), 2394-2404.
68. Knight, A. H., Croke, W. M.y Inkson, R. H. E. (1961). Cation-exchange capacities of tissues of higher and lower plants and their related uronic acid contents. *Nature*, 192(4798), 142.
69. Richardson, D. H. S. 1981. *The Biology of Mosses*, Blackwell Scientific Publications. Oxford.
70. Goodman, G. T., Smith, S., Parry, G. D. R.y Inskip, M. J. (1974). The use of moss bags as deposition gauges for airborne metals. *National Society For Clean Air. Proceedings Of The Annual Conference.* 41, Pt. 1, 8, 11 pp.
71. Cárdenas, S. A. (1999). Los musgos pleurocárpicos del Valle de México, México. *Tropical Bryology*, 109-116.
72. Azqueta, A., Shaposhnikov, S.y Collins, A. R. (2009). DNA oxidation: investigating its key role in environmental mutagenesis with the comet assay. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 674(1), 101-108.
73. Food and Drug Administration, HHS. (2012). International Conference on Harmonization; guidance on S2 (R1) Genotoxicity Testing and Data Interpretation for Pharmaceuticals intended for Human Use; availability. Notice. *Federal register*, 77(110), 33748.
74. Fenech, M. (2000). The *in vitro* micronucleus technique. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 455(1), 81-95.

75. Tice, R. R., Agurell, E., Anderson, D., Burlinson, B., Hartmann, A., Kobayashi, H. y Sasaki, Y. F. (2000). Single cell gel/comet assay: guidelines for *in vitro* and *in vivo* genetic toxicology testing. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 35(3), 206-221.
76. Ostling, O. y Johanson, K. J. (1984). Microelectrophoretic study of radiation-induced DNA damages in individual mammalian cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 123(1), 291-298.
77. Singh, N. P., McCoy, M. T., Tice, R. R. y Schneider, E. L. (1988). A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. *Experimental Cell Research*, 175(1), 184-191.
78. Rojas, E., Lopez, M. C. y Valverde, M. (1999). Single cell gel electrophoresis assay: methodology and applications. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 722(1-2), 225-254.
79. Collins, A. R. (2004). The comet assay for DNA damage and repair. *Molecular Biotechnology*, 26(3), 249.
80. Lee, R. F. y Steinert, S. (2003). Use of the single cell gel electrophoresis/comet assay for detecting DNA damage in aquatic (marine and freshwater) animals. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 544(1), 43-64.
81. Hartmann, A., Schumacher, M., Plappert-Helbig, U., Lowe, P., Suter, W. y Mueller, L. (2004). Use of the alkaline *in vivo* comet assay for mechanistic genotoxicity investigations. *Mutagenesis*, 19(1), 51-59.
82. Collins, A. R., Oscoz, A. A., Brunborg, G., Gaivao, I., Giovannelli, L., Kruszewski, M. y Štětina, R. (2008). The comet assay: topical issues. *Mutagenesis*, 23(3), 143-151.
83. International Agency for Research on Cancer (IARC). 2015. Agents Classified by the IARC Monographs, 1–113.
84. Braithwaite, E., Wu, X. y Wang, Z. (1998). Repair of DNA lesions induced by polycyclic aromatic hydrocarbons in human cell-free extracts: involvement of two excision repair mechanisms *in vitro*. *Carcinogenesis*, 19(7), 1239-1246.
85. Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K. y Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. en: *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology* Springer, Basel, pp. 133-164.
86. Desurmont, M. (1983). Carcinogenic effect of metals. *La semaine des hopitaux: organe fonde par l'Association d'enseignement medical des hopitaux de Paris*, 59(29-30), 2097-2099.
87. Goldstein, S., y Czapski, G. (1986). The role and mechanism of metal ions and their complexes in enhancing damage in biological systems or in protecting these systems from these systems from the toxicity of O₂⁻. *Journal of free radicals in biology & medicine*, 2(1), 3-11.
88. Leonard, S., Gannett, P. M., Rojanasakul, Y., Schwegler-Berry, D., Castranova, V., Vallyathan, V., y Shi, X. (1998). Cobalt-mediated generation of reactive oxygen species and its possible mechanism. *Journal of inorganic biochemistry*, 70(3-4), 239-244.
89. Yumei, W., Jinfeng, J., Xiaohong, Z. y Baoshan, Y. (1998). Genotoxicity of the dust organic extract and its fractions derived from an aluminium electrolytic plant. *Toxicology Letters*, 98(3), 147-153.

90. Hengstler, J. G., Bolm-Audorff, U., Faldum, A., Janssen, K., Reifenrath, M., Götte, W., ... y Bienfait, H. G. (2003). Occupational exposure to heavy metals: DNA damage induction and DNA repair inhibition prove co-exposures to cadmium, cobalt and lead as more dangerous than hitherto expected. *Carcinogenesis*, 24(1), 63-73.
91. Calao, C. R. y Marrugo, J. L. (2015). Efectos genotóxicos asociados a metales pesados en una población humana de la región de La Mojana, Colombia, 2013. *Biomédica*, 35(2).
92. Lima, P. D. L., Leite, D. S., Vasconcellos, M. C., Cavalcanti, B. C., Santos, R. A., Costa-Lotuf, L. V. y Burbano, R. R. (2007). Genotoxic effects of aluminum chloride in cultured human lymphocytes treated in different phases of cell cycle. *Food and Chemical Toxicology*, 45(7), 1154-1159.
93. Elevated levels of DNA- protein crosslinks and micronuclei in peripheral lymphocytes of tannery workers exposed to trivalent chromium. *Mutagenesis*, 16(1): 19-24.
94. Brinkmann, M., Blenkle, H., Salowky, K., Schiwy, S., Tiehm, A. y Hollert, H. (2014). Genotoxicity of heterocyclic PAHs in the micronucleus assay with the fisher liver cell RTL-W11. *Plos One*, 9 (1).
95. Mendoza-Zapata, L. C., Orozco-Jiménez, L. Y., Zapata-Restrepo, L. M. y Palacio-Baena, J. A. (2013). Genotoxicidad sobre linfocitos humanos expuestos a PM10 de tres sitios del Valle de Aburrá (Antioquia). *Revista de Salud Pública*, 15, 294-306.
96. Avila, E., Cadena, C. A., Fernandez, A., Garrido, A y Arturo, H. (2010). Bases de diagnóstico: población vulnerable del Estado de México 2010.
97. Plan municipal de Desarrollo urbano del estado de Tlalnepantla. Estado de México.
98. Kongerud, J. y Soyseth, V. (2014) Respiratory disorders in aluminium smelter worker. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 56: S 60-S 70.
99. Maya, S., Madhu, K. y Goli, D. Multifaceted effects of aluminium in neurodegenerative diseases: A review. (2016). *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 83: 746-754.
100. Lee, J y Son, Y. Pratheeshkumar, P. y Shi, X. (2012). Oxidative stress and metal carcinogenesis, *Free Radical Biology and Medicine* 53: 742- 757.
101. Gantke, T., Sriskantharajah, S., Sadowski, M., y Ley, S. C. (2012). IκB kinase regulation of the TPL-2/ERK MAPK pathway. *Immunological reviews*, 246(1), 168-182.
102. Leonard, S. S., Harris, G. K., y Shi, X. (2004). Metal-induced oxidative stress and signal transduction. *Free Radical Biology and Medicine*, 37(12), 1921-1942.
103. Zhang, X., Tang, N., Hadden, T. J., y Rishi, A. K. (2011). Akt, FoxO and regulation of apoptosis. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research*, 1813(11), 1978-1986.
104. Eckers, A., y Klotz, L. O. (2009). Heavy metal ion-induced insulin-mimetic signaling. *Redox Report*, 14(4), 141-146.
105. Calderón-Segura, M. E., Gómez-Arroyo, S., Villalobos-Pietrini, R., Butterworth, F. M., y Amador-Muñoz, O. (2004). The effects of seasonal weather on the genotoxicity, cytokinetic properties, cytotoxicity and organochemical

content of extracts of airborne particulates in Mexico City. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 558(1-2), 7-17.

Anexos

Anexo 1

CARTA DE CONSENTIMIENTO BAJO INFORMACIÓN PARA INVESTIGACIÓN

Por medio de la presente, el (la) que suscribe _____, de manera libre y sin coerción alguna, autorizo a ser sometido (a) a la toma de muestra de sangre que será practicado el día _____ del mes _____ del año _____ a las _____ hrs, para que se realice en ella el estudio denominado:

Ensayo de electroforesis unicelular alcalina.

De igual forma, se me informó que no tiene riesgo para mi salud, ya que consiste en la toma de una muestra sanguínea de 7ml del antebrazo con materiales nuevos y estériles.

Nombre y Firma

Anexo 2

Tabla 1. Metales pesados determinados en los extractos del musgo *Hypnum amabile* expuestos durante noviembre de 2016 en diferentes sitios del área metropolitana de la Ciudad de México.

	L.D.	Testigo	Testigo	Coyoacán	Coyoacán	Iztapalapa	Iztapalapa	La Merced	La Merced	San Agustín	San Agustín	Tlalnepantla	Tlalnepantla
		Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado
	µg L-1	µg L-1											
Al	6,047	646,49	155,65	3709,91	339,47	989,98	189,22	2648,24	238,01	1209,56	207,27	964,48	159,15
V	0,059	2,40	1,85	8,84	2,98	4,32	2,31	5,59	2,14	7,19	2,12	4,73	2,61
Cr	0,065	2,09	0,98	8,61	1,36	3,72	1,34	4,24	1,06	5,67	1,70	2,27	1,31
Mn	0,029	7283,08	2643,09	30982,84	5388,99	14593,29	3310,50	28643,04	4730,89	16061,04	2933,97	17012,17	2831,70
Fe	0,649	315,14	102,40	2067,74	201,35	906,80	129,80	1505,28	176,90	1071,84	163,62	637,22	105,60
Co	0,015	3,12	1,29	39,37	4,26	4,92	1,50	26,59	3,57	6,25	1,69	8,36	2,17
Ni	0,113	6,44	4,83	30,71	8,87	14,54	20,31	16,37	6,23	17,63	5,93	9,52	9,71
Cu	0,119	105,40	194,22	423,48	3078,46	355,48	1380,86	122,64	546,52	185,39	330,41	130,10	231,01
Zn	0,276	1148,42	679,80	6215,26	1693,71	1677,35	2026,57	4593,76	937,29	2955,47	942,58	2152,84	921,41
As	0,806	6,27	6,00	15,38	8,20	21,99	9,21	11,58	10,50	20,39	6,61	14,56	6,36
Mo	0,365	4,30	2,19	10,83	4,09	9,47	4,20	4,86	2,44	5,28	16,20	5,05	4,81
Cd	0,003	2,63	1,12	22,33	4,20	6,95	1,77	22,59	1,97	9,61	1,28	8,13	1,44
Sb	0,063	6,98	4,41	12,88	7,06	11,62	7,39	11,30	5,17	10,46	6,85	8,63	6,04
Pb	0,004	27,53	22,96	159,18	57,91	32,30	50,92	112,18	26,11	54,42	30,94	44,15	29,48

Tabla 2. Metales pesados determinados en los extractos del musgo *Hypnum amabile* expuestos durante diciembre de 2016 en diferentes sitios del área metropolitana de la Ciudad de México.

	L.D.	Testigo	Testigo	Coyoacán	Coyoacán	Iztapalapa	Iztapalapa	La Merced	La Merced	San Agustín	San Agustín	Tlalnepantla	Tlalnepantla
		Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado
	µg L-1	µg L-1											
Al	6,047	214,16	165,30	19631,15	261,10	13004,96	341,61	11711,74	413,45	7841,71	370,70	9506,75	188,20
V	0,059	10,63	1,88	21,57	2,40	13,15	3,14	14,49	3,33	14,19	3,10	20,09	2,00
Cr	0,065	5,87	1,53	14,02	2,13	8,62	1,56	8,54	1,56	6,94	1,65	9,98	1,61
Mn	0,029	60688,31	5123,84	89277,51	5564,60	75415,09	9463,65	70969,44	14947,16	61954,92	8871,35	71112,50	5376,84
Fe	0,649	1265,91	67,23	3659,12	161,83	2048,37	224,31	3152,69	318,92	1487,93	248,01	2740,78	81,32
Co	0,015	17,54	0,93	36,54	2,89	24,83	3,49	27,39	6,09	21,57	2,72	32,74	1,72
Ni	0,113	20,99	3,68	42,39	8,57	32,73	9,66	30,54	10,01	24,79	4,99	41,51	4,02
Cu	0,119	470,29	180,92	1141,78	399,36	559,49	350,12	513,92	208,92	265,57	261,13	559,03	469,31
Zn	0,276	3588,21	423,08	6774,38	599,31	4348,62	1046,69	4282,48	1575,21	3744,40	875,68	5009,79	468,82
As	0,806	19,74	4,12	33,45	5,60	37,70	8,32	23,85	8,05	29,84	8,39	39,09	5,58
Mo	0,365	3,00	0,89	6,11	2,05	4,54	2,29	4,42	4,28	3,11	9,87	5,24	1,13
Cd	0,003	9,95	0,75	29,30	1,07	14,72	2,48	15,86	4,18	16,72	3,42	11,91	1,18
Sb	0,063	33,40	15,39	52,94	20,93	43,51	19,74	38,39	18,39	42,74	20,57	51,44	18,50
Pb	0,004	63,20	11,27	128,67	14,70	78,35	28,81	81,64	39,43	68,43	19,19	102,79	12,90

Tabla 3. Metales pesados determinados en los extractos del musgo *Hypnum amabile* expuestos durante enero de 2017 en diferentes sitios del área metropolitana de la Ciudad de México.

	L.D.	Testigo	Testigo	Coyoacán	Coyoacán	Iztapalapa	Iztapalapa	La Merced	La Merced	San Agustín	San Agustín	Tlalnepantla	Tlalnepantla
		Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado
	µg L-1	µg L-1											
Al	6,047	505,62	51,09	1497,85	65,50	614,01	146,83	1360,01	63,20	1965,72	71,21	1272,27	72,38
V	0,059	5,49	2,07	7,83	2,56	8,47	2,81	7,17	2,09	13,09	2,39	8,77	2,78
Cr	0,065	2,88	0,91	5,55	1,26	3,40	1,09	5,16	0,95	5,55	1,45	4,30	1,98
Mn	0,029	23455,24	3193,87	41550,45	5536,50	49850,83	13222,46	45301,01	9409,66	56095,40	8016,54	26544,92	3639,65
Fe	0,649	487,14	58,22	674,32	71,26	540,50	135,38	512,17	64,56	659,29	89,60	523,50	65,18
Co	0,015	6,49	1,13	15,49	1,90	13,94	6,58	9,25	1,52	13,49	2,04	8,07	2,49
Ni	0,113	12,83	2,08	24,39	4,99	25,50	7,08	17,56	3,09	257,87	5,18	15,75	11,13
Cu	0,119	91,35	157,03	575,89	401,29	442,49	622,68	228,84	338,66	701,19	254,59	119,60	196,69
Zn	0,276	1630,49	358,20	3046,67	388,29	2937,75	1136,46	1953,76	555,35	4893,63	548,18	2176,85	741,49
As	0,806	14,29	4,85	23,68	7,84	18,60	8,53	15,87	6,09	31,76	6,83	20,55	7,13
Mo	0,365	1,66	1,73	2,95	2,10	3,80	3,38	3,04	2,17	4,83	2,84	1,89	3,57
Cd	0,003	7,91	1,17	11,92	1,36	11,82	5,74	9,63	3,07	18,87	1,58	8,45	1,21
Sb	0,063	30,47	11,90	41,18	20,01	40,61	18,46	41,89	14,12	49,29	26,09	33,36	19,37
Pb	0,004	31,62	14,88	83,45	20,24	59,56	47,71	33,26	16,81	70,80	16,51	50,17	18,26

Tabla 4. Metales pesados determinados en los extractos del musgo *Hypnum amabile* expuestos durante febrero de 2017 en diferentes sitios de la Ciudad de México y área metropolitana

	L.D.	Testigo	Testigo	Coyoacán	Coyoacán	Iztapalapa	Iztapalapa	La Merced	La Merced	San Agustín	San Agustín	Tlalnepantla	Tlalnepantla
		Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado
	µg L-1	µg L-1											
Al	6,047	194,77	30,02	272,22	42,68	1968,57	117,08	324,40	99,06	386,17	69,50	654,52	82,12
V	0,059	3,13	2,18	5,93	2,63	9,80	3,08	6,16	2,85	4,51	2,85	6,04	2,70
Cr	0,065	1,45	0,52	1,76	0,80	4,87	1,46	2,31	1,05	2,10	0,88	4,20	1,29
Mn	0,029	19551,87	5860,56	35287,63	6030,58	37833,74	7555,12	33631,79	8902,08	25002,55	9563,35	26972,39	7428,36
Fe	0,649	221,71	50,20	335,82	57,05	869,88	84,24	302,18	85,44	243,21	81,66	272,87	65,60
Co	0,015	5,80	2,27	13,58	2,75	12,25	2,91	8,75	3,68	6,45	2,61	8,20	2,80
Ni	0,113	12,18	5,84	22,50	6,07	21,30	5,47	22,01	10,35	13,45	6,57	16,93	5,81
Cu	0,119	316,86	270,03	527,77	447,18	1124,48	723,10	799,16	612,82	331,04	542,20	532,42	303,97
Zn	0,276	1054,90	512,41	2572,14	627,19	2886,62	686,64	2374,45	1079,07	1113,60	827,90	1861,04	826,45
As	0,806	12,54	5,28	16,26	6,64	30,04	6,86	17,50	7,79	14,68	7,18	21,18	8,05
Mo	0,365	1,37	1,14	4,64	1,76	12,70	1,40	3,38	2,31	1,60	2,11	3,00	2,21
Cd	0,003	3,65	1,48	9,63	1,99	11,80	1,90	8,88	3,39	5,65	2,75	7,28	2,39
Sb	0,063	31,72	17,07	45,74	20,57	55,95	22,30	45,87	21,54	33,27	24,02	40,26	23,56
Pb	0,004	23,40	20,15	56,99	24,21	73,29	24,86	83,17	42,23	26,72	23,19	51,81	23,91

Tabla 5. Metales pesados determinados en los extractos del musgo *Hypnum amabile* expuestos durante marzo de 2017 en diferentes sitios del área metropolitana de la Ciudad de México.

	L.D.	Testigo	Testigo	Coyoacán	Coyoacán	Iztapalapa	Iztapalapa	La Merced	La Merced	San Agustín	San Agustín	Tlalnepantla	Tlalnepantla
		Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado
	µg L-1	µg L-1											
Al	6,047	219,79	48,77	402,31	95,87	316,25	50,11	275,34	101,17	403,44	74,23	740,51	97,99
V	0,059	1,53	1,45	2,21	1,72	3,70	1,66	3,37	1,78	2,90	1,56	4,61	1,98
Cr	0,065	1,59	0,94	2,67	2,24	2,56	1,01	1,81	1,23	2,41	1,50	4,55	1,35
Mn	0,029	18906,43	5186,20	20633,14	11342,29	23227,31	5516,97	27643,80	13091,52	30163,72	7520,30	32549,45	9110,44
Fe	0,649	358,90	105,33	359,52	212,28	373,96	184,20	401,45	120,48	355,01	142,14	402,73	198,89
Co	0,015	3,20	1,39	5,22	6,02	4,27	1,83	5,55	2,98	4,07	1,88	5,61	2,85
Ni	0,113	9,14	4,30	13,12	7,92	10,53	4,90	14,32	6,08	10,15	8,58	19,57	7,54
Cu	0,119	205,29	238,50	226,35	336,71	384,16	505,44	261,25	302,20	315,32	615,56	464,89	933,47
Zn	0,276	1203,14	528,91	1779,80	1363,16	1308,98	536,75	1811,02	1550,91	1298,28	622,64	2917,53	1038,43
As	0,806	9,80	3,08	15,76	7,77	14,34	5,47	11,00	5,27	19,92	7,12	25,71	7,53
Mo	0,365	2,31	0,68	11,72	2,01	3,16	1,44	3,54	1,40	9,94	2,12	2,67	2,48
Cd	0,003	4,05	0,77	5,79	2,79	4,19	0,98	5,92	2,03	6,99	1,12	6,56	1,72
Sb	0,063	17,64	10,32	20,56	16,12	28,51	15,63	21,02	14,00	24,41	17,31	23,93	16,43
Pb	0,004	18,13	8,33	28,64	65,53	21,19	12,57	28,97	28,39	22,33	15,69	40,47	22,71

Tabla 6. Metales pesados determinados en los extractos del musgo *Hypnum amabile* expuestos durante abril de 2017 en diferentes sitios del área metropolitana de la Ciudad de México.

	L.D.	Testigo	Testigo	Coyoacán	Coyoacán	Iztapalapa	Iztapalapa	La Merced	La Merced	San Agustín	San Agustín	Tlalnepantla	Tlalnepantla
		Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado
	$\mu\text{g L}^{-1}$	$\mu\text{g L}^{-1}$											
Al	6,047	6,047	256,81	27,20	623,52	29,76	320,79	34,73	808,90	92,96	144,41	49,47	311,68
V	0,059	0,059	1,33	0,89	2,46	1,10	2,30	1,13	4,26	1,69	1,77	1,41	2,97
Cr	0,065	0,065	1,32	0,58	2,52	1,05	2,55	0,67	3,75	1,52	1,29	0,81	2,07
Mn	0,029	29222,77	4208,17	30561,10	4609,70	44678,01	11380,25	29885,55	7258,30	32592,73	11000,66	29911,47	10607,72
Fe	0,649	218,76	59,78	388,38	95,64	244,01	78,09	765,67	222,67	262,19	139,12	281,83	113,66
Co	0,015	3,07	0,49	5,01	1,32	5,31	2,28	7,55	2,36	4,92	2,05	17,48	10,96
Ni	0,113	6,25	2,14	11,43	3,97	21,14	11,93	10,99	8,80	8,30	4,39	9,03	4,72
Cu	0,119	181,97	240,49	318,29	275,56	199,41	439,79	223,14	407,77	198,07	597,33	224,61	633,76
Zn	0,276	1387,66	327,01	1800,03	364,43	2811,03	1135,65	2703,18	780,08	1638,22	974,00	2132,52	1768,80
As	0,806	7,30	3,50	11,65	4,61	26,00	4,88	13,13	5,42	9,32	6,05	17,90	7,01
Mo	0,365	0,87	0,51	1,78	2,20	1,40	6,84	2,07	1,39	1,42	1,05	3,16	1,35
Cd	0,003	4,06	0,94	8,86	1,28	18,75	2,02	7,60	1,89	7,42	2,01	7,86	3,81
Sb	0,063	19,63	14,59	28,75	15,32	25,90	15,30	26,84	17,58	22,14	17,99	27,45	17,60
Pb	0,004	30,15	9,72	33,47	11,84	51,68	30,87	42,98	21,13	31,32	29,68	40,86	56,05

Tabla 7. Metales pesados determinados en los extractos del musgo *Hypnum amabile* expuestos durante mayo de 2017 en diferentes sitios del área metropolitana de la Ciudad de México.

	L.D.	Testigo	Testigo	Coyoacán	Coyoacán	Iztapalapa	Iztapalapa	La Merced	La Merced	San Agustín	San Agustín	Tlalnepantla	Tlalnepantla
	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	
	µg L-1												
Al	6,047	416,22	109,02	2144,63	361,19	3365,61	127,63	6920,72	263,01	1144,60	180,08	432,66	135,51
V	0,059	4,39	2,17	8,64	3,33	9,98	2,31	15,04	3,29	5,37	2,26	5,98	2,98
Cr	0,065	2,33	1,36	6,01	1,94	8,74	1,53	13,58	1,51	4,44	1,42	2,45	1,47
Mn	0,029	14079,23	5988,36	32577,54	7687,69	42648,30	9571,41	48550,60	9964,95	31831,20	6241,25	19534,99	7182,51
Fe	0,649	422,18	142,18	1581,63	273,29	2440,31	291,82	4205,08	251,93	772,03	159,74	822,43	418,66
Co	0,015	7,94	3,65	25,27	6,77	37,71	8,73	60,29	9,06	22,36	4,03	18,18	6,37
Ni	0,113	13,75	11,47	38,61	16,99	39,62	13,36	52,79	19,20	52,58	25,01	16,62	17,80
Cu	0,119	217,66	426,24	1106,59	560,92	768,44	456,55	951,52	683,17	437,25	773,89	233,49	829,30
Zn	0,276	1280,71	849,94	4170,75	1223,50	4770,02	1564,72	6767,94	1545,75	3787,51	1011,47	2253,11	1382,12
As	0,806	10,37	4,06	17,32	7,41	24,18	6,59	23,39	7,55	15,34	6,30	11,12	6,71
Mo	0,365	2,65	0,78	5,49	1,22	5,61	2,95	6,09	4,89	3,71	7,94	3,36	2,42
Cd	0,003	4,82	1,03	11,67	2,69	14,58	3,37	20,53	2,95	11,96	1,87	6,46	2,63
Sb	0,063	27,77	17,88	44,20	22,52	44,26	19,43	48,90	22,08	34,83	18,48	30,13	19,66
Pb	0,004	35,59	32,89	135,67	51,71	153,32	59,28	277,74	63,87	116,69	42,03	77,10	53,46

Tabla 8. Metales pesados determinados en los extractos del musgo *Hypnum amabile* expuestos durante junio de 2017 en diferentes sitios del área metropolitana de la Ciudad de México.

	L.D.	Testigo	Testigo	Coyoacán	Coyoacán	Iztapalapa	Iztapalapa	La Merced	La Merced	San Agustín	San Agustín	Tlalnepantla	Tlalnepantla
		Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado
	µg L-1	µg L-1											
Al	6,047	197,46	64,12	265,65	127,14	225,60	78,89	1646,86	164,56	204,01	122,45	525,63	171,72
V	0,059	2,06	1,51	6,26	1,84	2,83	1,70	7,36	2,29	2,55	1,82	5,03	2,40
Cr	0,065	1,67	1,22	2,65	1,42	2,27	1,38	5,86	1,26	1,78	1,51	3,01	1,51
Mn	0,029	10749,61	4492,37	31760,60	8236,80	13516,17	4688,99	25672,83	6864,27	12638,72	7424,20	32791,73	11512,15
Fe	0,649	233,69	88,42	360,91	108,82	265,11	100,72	1322,00	176,00	383,32	417,88	471,72	127,63
Co	0,015	5,78	2,76	12,99	4,32	7,85	3,42	30,57	6,37	7,73	4,69	19,97	6,58
Ni	0,113	6,20	9,31	31,35	11,15	14,40	10,00	91,00	28,81	7,76	14,10	34,06	15,86
Cu	0,119	120,60	249,23	1047,86	286,80	279,10	443,17	539,46	421,15	165,51	694,63	504,17	274,49
Zn	0,276	945,93	730,32	3238,58	1000,60	1114,09	852,67	5216,80	1650,42	1012,81	1104,28	4026,00	1986,82
As	0,806	4,61	4,79	17,03	6,45	7,16	6,18	13,79	5,72	5,12	6,34	20,56	7,89
Mo	0,365	0,82	1,43	5,54	2,30	2,47	2,02	4,25	2,61	1,15	2,79	5,14	3,82
Cd	0,003	1,92	0,19	7,04	1,83	2,42	1,10	13,32	2,40	2,66	2,17	11,06	3,76
Sb	0,063	23,75	14,17	41,83	21,22	32,65	20,12	43,14	17,65	29,50	20,22	39,70	24,34
Pb	0,004	27,07	25,42	99,89	32,10	31,53	29,23	142,74	76,49	32,42	48,29	118,49	65,06

Tabla 9. Metales pesados determinados en los extractos del musgo *Hypnum amabile* expuesto durante ocho meses en diferentes sitios del área metropolitana de la Ciudad de México.

	L.D.	Testigo	Testigo	Coyoacán	Coyoacán	Iztapalapa	Iztapalapa	La Merced	La Merced	San Agustín	San Agustín	Tlalnepantla	Tlalnepantla
		Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado
	µg L-1	µg L-1											
Al	6,047	176,12	47,69	805,63	82,52	1078,13	150,08	180,75	50,18	329,06	94,04	212,99	162,62
V	0,059	2,40	0,50	5,74	2,03	5,50	2,18	3,78	1,16	4,28	2,31	4,63	4,26
Cr	0,065	0,45	0,42	2,93	0,82	3,04	0,97	1,73	0,78	2,20	0,86	1,84	1,07
Mn	0,029	12565,04	3520,63	32910,85	8264,23	27803,94	9012,74	16996,63	4514,00	15120,94	9897,25	17207,91	10914,70
Fe	0,649	104,14	45,605	522,19	68,52	709,14	135,00	172,76	76,12	217,59	105,18	264,41	162,49
Co	0,015	1,84	0,94	12,28	1,64	5,84	2,74	2,42	1,19	3,21	2,72	7,00	9,57
Ni	0,113	6,65	3,86	16,82	5,29	27,95	20,10	8,26	6,27	19,27	10,40	16,32	26,45
Cu	0,119	120,30	172,55	302,84	226,98	259,30	246,14	195,62	246,27	182,68	349,50	295,42	504,34
Zn	0,276	1147,89	679,39	4688,65	1309,33	2330,27	2071,85	1165,24	954,85	1483,33	1792,56	1754,90	2551,30
As	0,806	13,428	4,693	32,75	8,21	47,96	8,35	19,21	6,32	18,43	7,21	20,02	10,93
Mo	0,365	1,04	1,38	9,73	1,98	4,06	2,13	1,97	2,08	1,45	2,92	2,52	4,61
Cd	0,003	3,49	2,25	13,31	2,87	7,06	3,50	4,57	2,91	4,99	2,61	6,24	4,57
Sb	0,063	21,86	9,02	40,31	24,97	35,93	17,29	31,92	11,80	27,31	22,23	31,03	24,14
Pb	0,004	39,14	22,22	144,72	34,73	70,06	60,24	35,34	34,44	43,00	50,78	49,85	73,49

Anexo 3

Tabla 10. HAPs determinados en el musgo *Hypnum amabile* expuestos durante noviembre de 2016 en diferentes sitios del área metropolitana de la Ciudad de México.

	San Agustín		Iztapalapa		Tlalnepantla		La Merced		Coyoacán	
	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado
ng/g musgo										
Naftaleno	1.47	0.99	0.92	0.55	1.23	0.63	3.92	1.54	1.57	1.07
Acenaftileno	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.64	0.25	0.74	0.38
Acenafteno	2.51	0.00	2.45	0.00	2.24	0.00	2.92	0.00	2.57	0.00
Fluoreno	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	1.21	0.00	1.22	0.00
Fenantreno	2.84	1.08	1.71	0.42	3.31	1.02	5.32	1.39	2.28	1.42
Antraceno	1.53	0.59	0.86	0.38	1.74	0.84	1.75	0.76	1.63	0.75
2-Metilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-Metilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	2.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4,5-Metilfenantreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00
9-Metilantraceno	6.55	0.00	2.04	0.00	3.76	0.00	3.21	0.00	4.10	0.00
3,6-Dimetilfenantreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00
Fluoranteno	1.57	0.39	1.03	0.26	1.55	0.63	2.51	0.52	1.48	0.74
9,10-Dimetilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.66	0.72	0.54	0.00	0.69
Pireno	1.96	0.46	1.28	0.12	1.64	0.77	2.21	0.54	1.64	0.90
Reteno	0.73	0.17	0.66	0.00	0.38	0.00	0.73	0.23	1.26	0.59
Tripticeno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]fluoreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]antraceno	2.18	0.34	1.38	0.00	1.16	0.00	3.10	0.46	0.00	0.30
Trifenileno	0.00	0.00	0.73	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	2.32	0.00
Criseno	0.00		1.43	0.00	1.09	0.00	2.34	0.44	2.41	0.58
Ciclopenta[c,d]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5-Metilcriseno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7,12-Dimetilbenzo[a]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[b]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[k]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[j]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,e]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[e]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perileno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,h]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coroneno	0.00	0.00	1.06	0.00	0.00	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,h]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Indeno[1,2,3-cd]pireno	2.92	2.02	0.94	0.00	1.40	1.29	1.93	3.95	0.00	1.58
Dibenzo[a,c]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,i]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[ghi]perileno	1.26	0.00	0.76	0.00	0.85	0.00	1.03	0.00	0.00	0.00

Tabla 11. HAPs determinados en el musgo *Hypnum amabile* expuestos durante diciembre de 2016 en diferentes sitios del área metropolitana de la Ciudad de México.

	San Agustín		Iztapalapa		Tlalnepantla		La Merced		Coyoacán	
	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado
ng/g musgo										
Naftaleno	1.39	1.57	1.52	1.29	1.60	1.12	2.44	0.86	2.48	1.00
Acenaftileno	0.58	0.00	0.55	0.00	0.49	0.00	0.51	0.00	0.32	0.00
Acenafteno	1.53	0.00	1.22	0.00	2.14	0.00	1.53	0.00	0.93	0.00
Fluoreno	0.58	0.00	0.58	0.90	0.92	0.00	0.85	0.00	0.77	0.00
Fenantreno	1.88	1.59	2.12	1.08	1.71	0.78	1.93	1.00	2.15	0.60
Antraceno	0.88	0.00	1.14	0.00	1.93	0.57	1.56	0.00	0.00	0.71
2-Metilantraceno	0.00	0.00	1.44	0.00	3.32	0.00	0.85	0.00	0.00	0.00
1-Metilantraceno	1.77	0.93	3.98	0.58	3.44	1.02	0.00	0.00	1.72	0.53
4,5-Metilenfenantreno	1.22	0.00	0.00	1.05	0.00	0.00	0.00	0.72	1.02	0.00
9-Metilantraceno	2.94	0.00	1.70	0.00	1.88	0.00	1.45	0.00	1.50	0.00
3,6-Dimetilfenantreno	0.61	0.00	2.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	0.66	0.00
Fluoranteno	7.13	1.70	1.70	0.75	2.45	0.86	10.51	1.03	3.46	0.00
9,10-Dimetilantraceno	0.00	0.00	2.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	0.00	0.00
Pireno	2.02	1.90	1.22	0.77	1.58	0.00	3.46	0.55	2.81	0.48
Reteno	1.56	0.55	2.10	0.47	1.56	0.48	1.12	0.80	1.77	0.00
Tripticeno	1.63	0.00	0.77	0.33	1.80	0.41	0.90	0.00	1.04	0.00
Benzo[a]fluoreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]antraceno	0.00	1.26	1.70	1.28	4.41	1.40	1.25	1.02	1.88	0.00
Trifenileno	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.69	0.00	0.76	0.00
Criseno	1.85	0.89	0.71	1.13	3.20	0.00	1.24	0.00	1.46	0.00
Ciclopenta[c,d]pireno	0.00	0.00	1.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5-Metilcriseno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7,12-Dimetilbenzo[a]antraceno	0.00	0.00	1.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[b]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[k]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[j]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,e]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[e]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.88	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perileno	0.00	0.00	1.70	0.00	4.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,h]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coroneno	0.73	0.00	0.74	0.00	0.93	0.00	1.23	0.00	0.56	0.00
Dibenzo[a,h]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0.00	4.06	1.87	4.94	1.68	0.00	6.28	5.99	2.28	15.13
Dibenzo[a,c]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,i]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[ghi]perileno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 12. HAPs determinados en el musgo *Hypnum amabile* expuestos durante enero de 2017 en diferentes sitios del área metropolitana de la Ciudad de México.

	San Agustín		Iztapalapa		Tlalnepantla		La Merced		Coyoacán	
	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado
ng/g musgo										
Naftaleno	0.37	0.31	0.65	0.32	0.72	0.15	0.45	0.19	0.41	0.47
Acenaftileno	4.34	0.00	1.13	0.00	3.09	0.00	5.94	0.22	1.11	0.00
Acenafteno	1.02	0.00	0.68	0.00	3.15	0.00	1.01	0.00	0.00	0.56
Fluoreno	0.00	0.00	0.75	2.32	1.31	0.00	1.30	0.00	0.00	2.23
Fenantreno	0.53	0.29	1.19	1.07	2.03	0.24	2.53	0.31	0.70	2.09
Antraceno	0.74	0.38	1.62	0.93	1.80	0.18	1.53	0.37	1.03	1.79
2-Metilantraceno	0.00	0.22	1.01	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-Metilantraceno	0.00	0.00	0.93	0.00	1.15	0.00	0.65	0.44	0.00	0.26
4,5-Metilenfenantreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00
9-Metilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	2.15	0.00	0.41	0.00	0.83	0.00
3,6-Dimetilfenantreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoranteno	0.59	0.08	0.58	0.23	1.53	0.88	1.28	1.26	1.30	0.10
9,10-Dimetilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pireno	0.42	0.22	0.77	0.00	1.48	1.20	1.67	2.16	1.17	1.32
Reteno	0.00	0.00	5.63	0.00	4.65	1.61	4.94	3.51	4.96	4.60
Triptíceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]fluoreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]antraceno	0.55	0.00	0.85	0.39	1.33	3.52	1.41	4.14	1.11	0.00
Trifenileno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
Ciclopenta[c,d]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.76	0.00	0.36	0.00	0.49
Criseno	0.00	0.00	0.98	0.00	1.38	0.98	1.69	0.66	1.29	1.76
5-Metilcriseno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7,12-Dimetilbenzo[a]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[b]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.48	0.00	3.14	0.00	2.24
Benzo[k]fluoranteno	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[j]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67	0.00	1.89	0.00	6.63
Benzo[e]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perileno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,h]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.02	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,c]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[ghi]perileno	0.00	0.00	0.00	0.00	1.22	0.00	0.00	0.00	1.08	0.00

Tabla 13. HAPs determinados en el musgo *Hypnum amabile* expuestos durante febrero de 2017 en diferentes sitios del área metropolitana de la Ciudad de México.

	San Agustín		Iztapalapa		Tlalnepantla		La Merced		Coyoacán	
	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado
ng/g musgo										
Naftaleno	1.19	0.42	0.50	0.19	0.76	0.37	0.28	0.50	0.61	0.25
Acenaftileno	0.81	0.00	1.81	0.28	2.25	0.00	1.26	0.57	0.63	0.00
Acenafteno	1.65	0.00	0.71	0.54	2.22	2.23	1.29	0.00	1.37	0.00
Fluoreno	2.13	0.74	0.67	0.68	2.30	2.14	0.75	1.69	1.23	0.29
Fenantreno	5.50	0.85	0.95	0.82	2.38	0.85	0.69	0.55	1.79	0.68
Antraceno	1.40	0.85	1.30	0.74	2.35	0.87	0.77	0.58	1.32	0.55
2-Metilantraceno	0.00	0.04	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
1-Metilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00
4,5-Metilenfenantreno	0.69	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00
9-Metilantraceno	3.46	0.00	1.44	0.00	1.57	0.00	1.66	0.00	0.76	0.00
3,6-Dimetilfenantreno	0.00	0.00	0.00	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoranteno	1.87	0.29	1.32	0.65	0.96	0.68	1.16	0.36	0.65	0.35
9,10-Dimetilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pireno	3.08	0.20	0.79	0.25	1.29	0.45	0.49	0.09	0.73	0.38
Reteno	1.01	0.00	1.07	0.00	0.34	0.00	1.28	0.00	1.34	0.00
Tripticeno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]fluoreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]antraceno	2.37	0.00	1.94	0.32	1.93	0.85	1.60	0.35	1.18	0.00
Trifenileno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ciclopenta[c,d]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Criseno	2.42	0.00	0.89	0.00	1.30	0.00	0.91	0.00	1.82	0.00
5-Metilcriseno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7,12-Dimetilbenzo[a]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[b]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[k]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[j]fluoranteno	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[e]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perileno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,h]antraceno	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,c]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Indeno[1,2,3-cd]pireno	1.38	0.00	0.70	0.00	0.79	0.00	0.64	0.00	0.85	0.00
Benzo[ghi]perileno	0.99	0.00	0.51	0.00	0.81	0.00	0.80	0.00	0.98	0.00

Tabla 14. HAPs determinados en el musgo *Hypnum amabile* expuestos durante marzo de 2017 en diferentes sitios del área metropolitana de la Ciudad de México.

	San Agustín		Iztapalapa		Tlalnepantla		La Merced		Coyoacán	
	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado
ng/g musgo										
Naftaleno	0.36	0.89	0.60	0.90	0.78	0.47	0.45	0.76	0.46	1.02
Acenaftileno	0.40	0.32	0.71	0.46	0.78	0.29	0.70	0.33	0.65	0.43
Acenafteno	2.00	0.00	1.14	2.34	2.52	1.19	1.93	2.28	1.46	1.46
Fluoreno	0.87	3.75	1.10	1.44	1.27	2.94	0.90	1.97	2.42	3.12
Fenantreno	1.70	2.79	1.25	1.29	3.25	0.76	2.60	0.41	1.16	0.96
Antraceno	0.99	3.34	1.18	1.48	1.85	2.19	1.38	3.03	0.92	0.67
2-Metilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-Metilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4,5-Metilenfenantreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9-Metilantraceno	0.75	0.00	0.11	0.00	1.77	0.00	1.16	0.00	0.54	0.21
3,6-Dimetilfenantreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoranteno	1.06	0.46	1.26	0.52	2.10	0.49	2.84	0.69	1.09	0.65
9,10-Dimetilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pireno	1.27	1.08	1.08	0.78	2.18	0.64	2.43	0.57	1.01	1.20
Reteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tripticeno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]fluoreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]antraceno	0.00	0.48	0.72	0.24	1.35	0.50	1.21	0.00	1.20	0.44
Trifenileno	0.51	0.71	0.94	0.47	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00
Ciclopenta[c,d]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Criseno	0.00	0.00	1.77	0.00	2.10	0.00	1.54	0.00	1.24	0.00
5-Metilcriseno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7,12-Dimetilbenzo[a]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[b]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[k]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[j]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[e]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perileno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,h]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	1.17	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00
Dibenzo[a,c]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[ghi]perileno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 15. HAPs determinados en el musgo *Hypnum amabile* expuestos durante abril de 2017 en diferentes sitios del área metropolitana de la Ciudad de México.

	San Agustín		Iztapalapa		Tlalnepantla		La Merced		Coyoacán	
	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado
ng/g musgo										
Naftaleno	1.52	0.68	0.52	0.61	1.60	1.17	0.91	1.09	1.55	0.58
Acenaftileno	1.60	0.46	1.31	0.62	6.29	0.88	0.71	0.61	1.03	0.37
Acenafteno	3.00	1.70	2.95	0.54	6.40	2.57	2.50	1.68	3.17	1.47
Fluoreno	4.12	1.71	1.37	1.49	5.61	2.61	1.59	2.21	2.17	1.20
Fenantreno	4.81	1.80	1.16	2.32	3.79	2.90	1.07	3.02	1.91	1.65
Antraceno	3.40	2.64	1.80	3.01	8.01	3.75	1.97	3.00	2.16	2.39
2-Metilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-Metilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4,5-Metilenfenantreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9-Metilantraceno	4.24	0.00	1.84	0.24	1.54	0.00	2.90	0.00	2.01	0.00
3,6-Dimetilfenantreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoranteno	3.01	0.43	1.69	0.60	2.38	0.70	1.46	0.69	1.04	0.85
9,10-Dimetilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pireno	5.02	0.48	1.87	0.78	9.67	1.12	0.94	1.10	1.26	0.88
Reteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tripticeno	3.98	0.00	2.25	1.81	1.50	2.39	3.09	1.68	1.24	0.00
Benzo[a]fluoreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Trifenileno	4.98	0.00	2.24	0.00	8.63	0.00	1.76	0.00	3.29	0.00
Ciclopenta[c,d]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Criseno	4.32	0.45	1.96	1.13	7.48	0.62	4.77	0.93	2.79	0.50
5-Metilcriseno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7,12-Dimetilbenzo[a]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[b]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[k]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[j]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[e]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perileno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,h]antraceno	0.00	1.29	0.00	1.07	0.00	1.01	0.00	1.01	0.00	1.26
Dibenzo[a,c]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[ghi]perileno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 16. HAPs determinados en el musgo *Hypnum amabile* expuestos durante mayo de 2017 en diferentes sitios del área metropolitana de la Ciudad de México.

	San Agustín		Iztapalapa		Tlalnepantla		La Merced		Coyoacán	
	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado
ng/g musgo										
Naftaleno	1.43	0.52	0.85	0.42	2.13	0.98	0.88	0.19	1.11	0.26
Acenaftileno	1.17	1.67	0.85	0.53	1.02	1.76	0.63	0.22	1.43	0.38
Acenafteno	1.29	0.00	3.68	0.00	3.35	0.00	2.36	0.00	3.73	0.00
Fluoreno	3.63	3.49	4.66	1.20	3.03	2.39	2.60	0.88	3.88	1.64
Fenantreno	3.68	3.53	4.86	2.62	2.18	1.22	2.53	0.31	3.37	2.11
Antraceno	0.00	0.00	4.31	0.00	4.61	0.00	2.42	0.00	4.19	0.00
2-Metilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-Metilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4,5-Metilenfenantreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9-Metilantraceno	2.04	0.00	2.30	0.00	3.15	0.00	3.53	0.00	2.03	0.00
3,6-Dimetilfenantreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoranteno	1.52	0.00	1.61	0.38	1.69	0.55	2.86	1.26	3.37	0.38
9,10-Dimetilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pireno	3.49	0.00	1.58	0.00	1.89	0.00	1.54	0.00	3.62	0.00
Reteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tripticeno	2.10	1.78	1.04	1.80	1.69	2.00	2.61	1.75	3.68	1.24
Benzo[a]fluoreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Trifenileno	1.61	0.00	1.90	0.00	1.42	0.00	2.09	0.00	2.89	0.00
Ciclopenta[c,d]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Criseno	1.32	0.00	1.40	0.00	1.13	0.00	2.00	0.00	2.63	0.00
5-Metilcriseno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7,12-Dimetilbenzo[a]antraceno	2.61	0.00	2.77	1.83	1.31	1.24	3.35	0.00	1.23	0.55
Benzo[b]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[k]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[j]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[e]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perileno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,h]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,c]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[ghi]perileno	0.96	0.00	0.61	0.00	0.36	0.00	0.34	0.00	0.89	0.00

Tabla 17. HAPs determinados en el musgo *Hypnum amabile* expuestos durante junio de 2017 en diferentes sitios del área metropolitana de la Ciudad de México.

	San Agustín		Iztapalapa		Tlalnepantla		La Merced		Coyoacán	
	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado
ng/g musgo										
Naftaleno	4.23	4.33	5.78	1.44	4.00	1.46	5.50	3.15	5.85	4.38
Acenaftileno	2.28	3.51	7.93	1.48	4.00	1.32	3.95	1.51	3.37	3.26
Acenafteno	5.54	3.28	6.93	0.00	2.78	1.94	5.94	4.00	6.91	3.63
Fluoreno	4.95	2.83	3.51	6.04	6.88	0.00	9.62	3.52	6.07	4.69
Fenantreno	4.26	2.91	12.39	0.66	2.89	0.77	11.56	1.98	7.48	2.02
Antraceno	3.86	1.75	6.20	0.57	4.24	1.07	13.79	1.46	5.85	3.66
2-Metilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-Metilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4,5-Metilenfenantreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9-Metilantraceno	3.91	0.00	6.38	0.00	9.25	0.00	12.22	0.00	7.67	0.00
3,6-Dimetilfenantreno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoranteno	5.35	0.00	14.86	0.00	4.76	0.00	4.43	1.03	5.95	0.98
9,10-Dimetilantraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pireno	4.10	3.18	10.23	4.11	8.08	0.67	4.67	2.02	6.44	0.73
Reteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tripticeno	5.57	0.00	3.60	0.00	5.29	0.00	7.43	0.00	0.00	1.69
Benzo[a]fluoreno	7.88	0.00	0.00	0.00	3.20	0.00	4.33	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Trifenileno	10.27	4.24	4.09	0.87	10.06	2.47	6.90	0.00	6.34	1.51
Ciclopenta[c,d]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Criseno	7.98	4.05	3.41	1.02	7.51	1.61	8.52	0.00	5.19	1.69
5-Metilcriseno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7,12-Dimetilbenzo[a]antraceno	6.26	0.00	3.39	1.14	6.61	0.80	11.57	0.00	4.45	2.42
Benzo[b]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[k]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[j]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[e]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perileno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,h]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,c]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.76	0.00	0.00
Benzo[ghi]perileno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 18. HAPs determinados en el musgo *Hypnum amabile* expuestos durante ocho meses en diferentes sitios del área metropolitana de la Ciudad de México.

	San Agustín		Iztapalapa		Tlalnepantla		La Merced		Coyoacán	
	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado	Sin lavar	Lavado
ng/g musgo										
Naftaleno	1.50	1.21	1.42	0.72	1.60	0.79	1.85	1.04	1.76	1.13
Acenaftileno	1.60	0.75	1.79	0.44	2.24	0.53	1.79	0.46	1.16	0.60
Acenafteno	2.29	0.62	2.47	0.43	3.10	0.99	2.43	0.99	2.52	0.89
Fluoreno	2.32	1.56	1.58	1.76	2.66	1.28	2.35	1.28	2.22	1.65
Fenantreno	3.20	1.86	3.20	1.28	2.69	1.07	3.53	1.12	2.61	1.44
Antraceno	1.61	1.19	2.30	0.89	3.32	1.18	3.15	1.15	2.14	1.31
2-Metilantraceno	0.00	0.03	0.31	0.07	0.42	0.00	0.11	0.00	0.00	0.03
1-Metilantraceno	0.25	0.12	0.61	0.07	0.94	0.20	0.08	0.05	0.21	0.10
4,5-Metilenfenantreno	0.27	0.02	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.24	0.13	0.00
9-Metilantraceno	2.48	0.45	1.98	0.29	3.13	0.26	3.32	0.48	2.43	0.30
3,6-Dimetilfenantreno	0.09	0.00	0.25	0.14	0.00	0.00	0.04	0.09	0.08	0.00
Fluoranteno	2.93	0.42	3.01	0.42	2.18	0.60	3.38	0.86	2.29	0.51
9,10-Dimetilantraceno	0.00	0.00	0.31	0.00	0.07	0.08	0.09	0.16	0.00	0.09
Pireno	2.77	0.94	2.35	0.85	3.48	0.60	2.18	0.88	2.33	0.74
Reteno	0.37	0.09	1.18	0.06	0.87	0.26	1.01	0.57	1.17	0.65
Tripticeno	1.90	0.22	0.96	0.49	1.29	0.60	1.75	0.43	0.75	0.37
Benzo[a]fluoreno	1.13	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.54	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]antraceno	0.42	0.26	0.82	0.28	1.27	0.78	1.07	0.75	0.67	0.09
Trifenileno	2.48	0.62	1.32	0.17	2.51	0.39	1.59	0.00	1.95	0.19
Ciclopenta[c,d]pireno	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.22	0.00	0.04	0.00	0.06
Criseno	2.56	0.67	1.57	0.41	3.15	0.40	2.87	0.25	2.36	0.57
5-Metilcriseno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7,12-Dimetilbenzo[a]antraceno	1.27	0.00	0.92	0.37	0.99	0.26	1.87	0.00	0.71	0.37
Benzo[b]fluoranteno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.39	0.00	0.28
Benzo[k]fluoranteno	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Benzo[j]fluoranteno	0.00	0.02	0.00	0.00	0.06	0.21	0.00	0.24	0.00	0.83
Benzo[e]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00
Benzo[a]pireno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perileno	0.00	0.00	0.21	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,h]antraceno	0.00	0.16	0.10	0.13	0.15	0.13	0.50	0.24	0.00	0.16
Dibenzo[a,c]antraceno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0.20	0.76	0.44	0.61	0.49	0.16	1.10	1.72	0.39	2.09
Benzo[ghi]perileno	0.28	0.00	0.24	0.00	0.41	0.00	0.27	0.00	0.37	0.00