



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Iztapalapa

**“BANCO DE ESPORAS DE PTERIDOFITAS DEL PARQUE
ECOLÓGICO EL AJUSCO DE LA CIUDAD DE MÉXICO”**

TESIS

Que para obtener el grado de

Maestra en Biología

PRESENTA

Biól. Alejandra Castrejón Varela

Director de tesis:

Dra. Blanca Pérez García

Asesores:

M. en C. Aniceto Casimiro Mendoza Ruiz y Dra. Alma Delfina Lucía
Orozco Segovia

Abril, 2018

La Maestría en Biología de la
Universidad Autónoma Metropolitana
pertenece al Padrón de
Posgrados de Calidad del CONACyT

El jurado designado por la
División de Ciencias Biológicas y de la Salud
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

Alejandra Castrejón Varela

El día ____ de _____ del año de _____.

Comité Tutoral y Jurado



Tutor: Blanca Pérez García

Asesor: Aniceto Casimiro Mendoza Ruiz

Asesor: Alma Delfina Lucía Orozco Segovia

Sinodal: Pedro Eloy Mendoza Hernández

Sinodal: Ana Rosa López Ferrari

Sinodal: Felipe Gómez Noguez

DEDICATORIA

A mis padres Jesús y Luz, las palabras no son suficientes para agradecer todo su apoyo y amor que nos brindan día con día, les estaré agradecida y los amaré eternamente.

A mis hermanas Angélica y Valeria, gracias por el apoyo, consejos y por toda la ayuda brindada en este camino, las amaré y cuidaré eternamente.

A una mujer que ha marcado mi vida, gracias por tu apoyo y comprensión en todo Araceli.

A mis tíos, primos y sobrinos, les agradezco su amor incondicional, los quiero.

A la memoria de mis primos, tíos y abuelos.

A la Doctora Blanca, quien ha fungido como guía en mi formación académica, personal y me ha enseñado el buen camino de los helechos. Gracias por su apoyo y consejos tanto profesionales como personales.

A mis asesores de tesis, Doctora Alma y Maestro Aniceto, gracias por su apoyo, observaciones, llamadas de atención, sugerencias y consejos.

A mis amigas de toda la vida, Alba, Viri y Mariana, gracias por crecer junto a mí.

A todos mis amigos que estuvieron junto a mí a lo largo de la carrera, de la maestría, del trayecto hacia Texcoco (Autobús), del gametofito feliz y herbario UAMIZ. Sin olvidar a mis amigos Chris y Noelia, que aunque estamos muy lejos, siempre estamos juntos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi comité tutorial, por la revisión y sugerencias en la tesis, así como a los sinodales quienes revisaron y mejoraron sustancialmente el trabajo.

Agradezco al Doctor Pedro Eloy Mendoza Hernández, quien me apoyó en todo el proceso de reintroducción.

A la M. en C. María Esther Sánchez Coronado por el apoyo logístico en campo, asesorías y consejos a lo largo de este proyecto. Además de su valiosa ayuda en campo en la toma de muestras.

A la Doctora Alma Orozco Segovia quien en todo momento me ayudó y facilitó espacios para trabajar dentro del Instituto de Ecología de la UNAM.

Al M. en C. Aniceto Mendoza Ruiz, quien gracias a sus consejos y ayuda se finalizó la tesis.

A la Doctora Blanca Pérez García, por ser mi mentora en este largo camino y quien se aventuró a todas mis salidas al campo.

Agradezco a la Maestra Irma Reyes Jaramillo por las facilidades brindadas para los análisis edafológicos.

Al Director General de la Comisión de Recursos Naturales de la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, José Manuel Ávila Cetina por las

facilidades para la extracción del suelo y reintroducción de los helechos en el Parque Ecológico de la Ciudad de México.

A las personas encargadas del Parque Ecológico de la Ciudad de México por dejarnos trabajar sin ningún obstáculo.

A Luis Vidal Pedrero por las sugerencias en los análisis ambientales y la valiosa ayuda en campo.

A Rafaela Vázquez y Araceli Moya, quienes me auxiliaron en la reintroducción de los helechos.

Agradezco a los proyectos Papiit IN-205715 (UNAM) y CONACyT 221015 a cargo de la Dra. Alma Orozco Segovia, así como a la beca otorgada por CONACyT 592278 para la realización de este proyecto, a la UAMI por las facilidades concedidas para su realización y a la Maestría en Biología.

RESUMEN

Los helechos son plantas vasculares que se reproducen por esporas, presentan alternancia de generaciones heteromórficas. Se calcula que en el mundo existen 11,916 especies de helechos y licofitas, de las cuales en México hay alrededor de 1,030 especies. La mayoría producen un número elevado de esporas, las cuales son estructuras unicelulares de reproducción asexual que pueden dispersarse a largas distancias a través de corrientes de aire; de acuerdo con su fisiología son clorofílicas, no clorofílicas y criptoclorofílicas, pueden germinar inmediatamente o depositarse en el suelo formando el banco de esporas, este banco es dinámico, ya que existe un flujo continuo de aportes y pérdidas de esporas. Las esporas cumplen un importante papel en la recuperación de áreas que han sufrido disturbios y su estudio plantea una alternativa de conservación. Las diferencias entre los bancos de esporas de un sitio a otro dependen de las diferencias en la textura del suelo, la historia del uso de suelo y los cambios temporales en la lluvia de esporas e incluso la pteridoflora local. En términos de manejo a través de estrategias de la restauración ecológica, como dispersión de esporas como la facilitación por medio de la reintroducción activa de helechos, los bancos de esporas pueden ser utilizados en la restauración ecológica. Durante la reintroducción se pueden ocupar las comunidades sintéticas, que son un grupo de individuos de diferentes especies colocados a través de la una plantación experimental pueden utilizarse para compensar la pérdida de la biomasa vegetal y generar heterogeneidad microambiental y enriquecer la comunidad de helechos.

Para el estudio del banco de esporas se delimitaron dos zonas de muestreo, de 20 m² cada una dentro del Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM). A lo largo de un año (septiembre 2015 a agosto 2016), durante cada bimestre, se obtuvieron muestras de suelo de cada zona, las cuales se tomaron en 5 puntos al azar a dos profundidades diferentes de 0-5 y 5-10 cm, se obtuvieron también datos de temperatura relativa del ambiente y del suelo a través de sensores HOBO Temp. Se identificó y censó la pteridoflora del PECM, los especímenes se recolectaron, prensaron, secaron e identificaron en la UAMI. Se delimitó una zona para la reintroducción activa de los esporofitos durante la parte final de las lluvias del 2017. De las muestras de suelo, se realizó un conteo de gametofitos, teniendo como resultado 5,720 para la zona cubierta y 4,361 para la zona expuesta. Para ambas zonas de estudio, el bimestre con mayor número de gametofitos fue enero-febrero con 1,795 en la zona cubierta y 1,254 en la zona expuesta, el bimestre que presentó menor número de gametofitos observados fue julio-agosto con 694 en la zona cubierta y 253 en la zona expuesta. Para el análisis de datos de los gametofitos y con la finalidad de agrupar los puntos que comparten mayor similitud en cuanto al número total de gametofitos observados en el banco de esporas, se utilizó el programa estadístico Primer v 6.1. Los esporofitos emergentes del banco de esporas se identificaron a nivel de familia y/o género. De los 51 ejemplares de pteridofitas recolectados e identificados, se reconocieron un total de 20 especies. Finalmente, para lograr el mayor éxito en la reintroducción de los esporofitos estos fueron colocados en un período de pre-acondicionamiento. Se realizó el listado florístico de las zonas elegidas para la reintroducción de las pteridofitas. Se obtuvieron tres

comunidades sintéticas de helechos, las cuales se reintrodujeron en la zona descrita en matorral xerófito y fueron organizadas conforme a la abundancia de las especies.

ABSTRACT

Ferns are vascular plants that reproduce by spores, and have alternation of heteromorphic generations. It is estimated that there are 11,916 species of ferns and lycophytes in the world, of which there are around 1,030 species in Mexico. Most of the structures are unilateral reproduction, which structures of asexual reproduction that can disperse through air currents; according to their physiology the spores are chlorophyllics, not chlorophyllic or cryptochlorophyllics. They can germinate immediately or be deposited in the soil forming the spore bank, this bank of the spores is dynamic, there is already a continuous flow of contributions and the spores play an important role in the recovery of areas who have suffered disturbances and their study poses a conservation alternative. The differences between spore banks from one site to another depend on differences in soil texture, history of land usage and temporal changes in spore rainfall and even the local fern flora. In terms of management through ecological strategies, spore banks can be used in ecological restoration since spore dispersion facilitates the active reintroduction of ferns. During reintroduction, achieving arrangements or synthetic communities, that is, groups of individuals of different colored species through the experimental plantation can be used to compensate for the loss of plant biomass and generate microenvironmental heterogeneity and enrich the fern community.

In this study of the spore bank, two sampling zones were delimited, of 20 m² each within the Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM). Throughout a year (september 2015 to august 2016), during each bimester, soil samples were obtained

from each zone, which were taken in 5 random points at two different depths of 0-5 and 5-10 cm, relative temperature and ambient temperature data were also obtained through HOBO Temp sensors. The ferns of the PECM was counted, the specimens were collected, pressed, dried and identified in the Herbario Metropolitano de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. A zone was delimited in the PECM for the active reintroduction of sporophytes during the final part of the rains in 2017. From the soil samples, a count of gametophytes was carried out, resulting in 5,720 for the covered area and 4,361 for the exposed area. For both study areas, the bimester with the highest number of gametophytes was january-february with 1,795 in the covered area and 1,254 in the exposed area, the bimestre that presented the lowest number of gametophytes observed was july-august with 694 in the covered area and 253 in the exposed area. For the analysis of data of the gametophytes and in order to group the points that share the greatest similarity in terms of the total number of gametophytes observed in the spore bank, the statistical program Primer v 6.1 was used. The sporophytes emerging from the spore bank were identified at the family and / or genus level. Of the 51 specimens of pteridophytes collected and identified, a total of 20 species were recognized. Finally, to achieve the greatest success in the reintroduction of sporophytes, they were placed in a pre-conditioning period. The floristic list of the zones chosen for the reintroduction of the pteridophytes was made. Three synthetic communities of ferns were obtained, which were reintroduced in the area described in xerophytic scrub and were organized according to the abundance of the species.

Contenido

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	6
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	13
Diversidad de plantas vasculares y su distribución en México	13
Generalidades sobre Polypodiophyta	14
Banco de esporas	18
Restauración ecológica	23
Reintroducciones	26
Comunidades sintéticas de helechos	28
Historia y problemáticas del Parque Ecológico de la Ciudad de México	29
ANTECEDENTES	31
Bancos de esporas en México	31
La restauración ecológica en México	33
JUSTIFICACIÓN	34
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	35
HIPÓTESIS	35
OBJETIVO GENERAL	36
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	36
MATERIAL Y MÉTODOS	37
Delimitación del área de estudio	37
Caracterización ambiental del sitio	38
Diseño de muestreo	38
Análisis edafológico del suelo	39
Cultivo de las muestras de suelo	40
Identificación de los esporofitos jóvenes	41
Reintroducción de esporofitos	41
RESULTADOS	43
Banco de esporas	43
Identificación de esporofitos del banco de esporas	52

Medición de la temperatura	57
Comparación de la temperatura vs cantidad de gametofitos	58
Análisis edafológicos	60
Identificación de material biológico	61
Reintroducción de pteridofitas	66
Comunidades sintéticas	68
DISCUSIÓN	69
Banco de esporas	69
Helechos del PECM	71
Reintroducción de helechos	72
Comunidades sintéticas con helechos	74
CONCLUSIONES	76
PERSPECTIVAS A FUTURO	77
Anexo I	79
Anexo II	80
BIBLIOGRAFÍA	82

INTRODUCCIÓN

Diversidad de plantas vasculares y su distribución en México

México es considerado un país megadiverso ya que se encuentra entre los 12 países con mayor diversidad de especies, debido a su compleja topografía, su variedad de climas y su conexión entre las zonas biogeográficas neártica y neotropical (González-Hidalgo *et al.*, 2002, Lakin *et al.*, 2006). Por su extensión latitudinal, longitudinal y su diversidad orográfica (Challenger y Soberón, 2008); ocupa el cuarto lugar en cuanto al porcentaje de especies vegetales endémicas (Riviera-Hernández y Espinosa-Henze, 2007; Luna-Vega, 2008). García (1999) menciona aproximadamente 26,000 taxa de plantas vasculares en México, colocándolo entre los primeros lugares de la lista de riqueza de especies, estudios más recientes mencionan la presencia en nuestro país de 73 órdenes con 297 familias, 2,854 géneros y 23,314 especies de plantas vasculares (Villaseñor, 2016).

Referente a los helechos y licopodios, se calcula que en el mundo existen 11,916 especies, incluidos en 337 géneros, 51 familias, 14 órdenes y dos clases (Lycopodiopsida y Polypodiopsida) (PPGI, 2016), las cuales se encuentran distribuidas principalmente en las zonas tropicales y templadas del mundo (Riba, 1993; Rzedowski, 1993), restringidos principalmente por la presencia de humedad, lo cual hace que los bosques mesófilos y las regiones cálido-húmedas montañosas se encuentren entre los ecosistemas con mayor riqueza pteridológica (Pérez-García y Reyes-Jaramillo, 1993; Ramírez-Trejo *et al.*, 2000; Tejero-Díez *et al.*, 2014).

En México, los licopodios y helechos forman el segundo grupo más grande de plantas vasculares y algunas veces son un componente importante en el sotobosque de las comunidades vegetales. Mickel y Smith (2004) mencionan que la pteridoflora mexicana está compuesta por aproximadamente 110 géneros y entre 1008 y 1014 especies. Acebey y colaboradores (2015) calculan la presencia de 1,030 especies de helechos y licofitas, de las cuales 188 son endémicas, lo que representaría 3% de la flora vascular del país (Mehltreter, 2008), concentrándose la mayor diversidad en los estados de Oaxaca, Chiapas y Veracruz, aunque el mayor porcentaje de endemismos se encuentra en los estados con climas áridos como Nuevo León y toda la parte norte del país (Riba, 1998; Martínez-Salas y Ramos, 2014).

Generalidades sobre Polypodiophyta

Las pteridofitas son plantas vasculares que no producen flores ni desarrollan frutos o semillas, se reproducen por esporas, las cuales se desarrollan en la parte inferior de las hojas (Mendoza-Ruiz y Pérez-García, 2009). Se encuentran entre los grupos de plantas más antiguos del planeta, sus primeros registros datan del Período Devónico de la Era Paleozoica y tuvieron su apogeo a fines del Mesozoico (García, 1999). El registro fósil más antiguo que se tiene de helechos data de hace 345 millones de años (Moran, 2004).

Los helechos, dependiendo del sustrato en el que se desarrollan, pueden ser terrestres herbáceos, terrestres trepadores, terrestres arborescentes, epífitos, hemiepífitos, rupícolas, acuáticos y semiacuáticos, lo anterior refleja que su

distribución obedece a factores ambientales como la intensidad de la luz, la temperatura, la humedad, entre otros (Mendoza-Ruiz y Pérez-García, 2009).

El ciclo de vida de los helechos comprende una alternancia de generaciones, una fase esporofítica dominante ($2n$) y la fase gametofítica (n) pequeña pero independiente del esporofito (Pérez-García y Reyes-Jaramillo, 1993; Martínez-Salas y Ramos, 2014). El esporofito produce esporas que al germinar dan origen a un gametofito responsable de la reproducción sexual y la recombinación genética, a través de las células gaméticas (anterozoides y ovocélula), que al unirse (singamia) forman al cigoto a partir del cual se formará un nuevo esporofito (Mehltreter *et al.*, 2010).

Además de reproducirse sexualmente, estas plantas también se propagan vegetativamente en cualquiera de sus fases, ya sea por medio de yemas (tanto en el gametofito como en el esporofito) o por estípulas, raíces estoloníferas o bulbillos, entre otros (Moran, 2004). Así mismo hay unas rutas diferentes dentro del ciclo de vida de estas plantas: la apogamia y aposporia (Bell, 1979; Raghavan, 1989; Martínez-Salas y Ramos, 2014).

La apogamia es un mecanismo importante para la especiación y diversificación de los helechos, en ella se produce un esporofito sin previa fertilización (Cubas, 1989) y tiene el mismo número cromosómico que el gametofito (n), se asocia a especies que se encuentran en lugares con poca humedad, poca disponibilidad de nutrientes y cambios en la intensidad de luz (Jones, 1987). Este tipo de propagación confiere dos ventajas adaptativas a las especies, en primer lugar no necesitan agua

para la fertilización y en segundo lugar, el esporofito madura más rápido (Moran, 2004), sin embargo crea barreras reproductivas que impiden el flujo de genes (Yi-Shan *et al.*, 2012).

La aposporia es la formación de gametofitos a partir de esporofitos sin la presencia de esporas. Ocurre esporádicamente y suele ser inducida, el gametofito apospórico tiene la misma carga cromosómica que el esporofito parental ($2n$), lo cual es un paso más hacia la poliploidía en helechos que implica que el número de cromosomas se duplique con cada fertilización (Bell, 1979; Walker, 1979; Raghavan, 1989).

Dalling (2002) menciona que la biología reproductiva de las plantas constituye un elemento clave en los patrones de distribución y abundancia de especies, por lo cual el ciclo de vida de los helechos y sus mecanismos y estrategias de reproducción, favorecen la capacidad de invadir ambientes perturbados, como es el caso de *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, una especie altamente invasiva (Rodríguez-Romero *et al.*, 2011).

Las esporas son estructuras unicelulares eucarióticas de reproducción asexual, son unidades de dispersión efectivas debido a su diminuto tamaño, que oscila entre 25 a 100 micrómetros (Pérez-García y Reyes-Jaramillo, 1993; Ramírez-Trejo *et al.*, 2000; Mendoza-Ruiz y Pérez-García, 2009), pueden recorrer largas distancias a través de corrientes de aire (dispersión anemócora) (Mehltreter *et al.*, 2010). La mayoría de los helechos producen un número elevado de esporas cada temporada (Hernández *et al.*, 2012). Dependiendo de cada especie, en promedio pueden

producir de 16 esporas por esporangio como *Pteris vittata* hasta 3,000 en *Adiantum capillus-veneris* o más en otras especies (Dyer, 1979). En ocasiones la dispersión de las esporas es tan amplia, que algunas especies invasoras como *Pteridium caudatum* (L.) Maxon, pueden llegar a una zona y ser una amenaza para la flora nativa del sitio, ya que se ha comprobado que sus esporas tienen capacidad de tolerar incendios y permanecer viables (Ramírez-Trejo *et al.*, 2007, 2010).

El estudio de las esporas es importante para varios campos de la biología; su morfología externa se usa como carácter taxonómico diagnóstico para establecer relaciones filogenéticas (Puche *et al.*, 1988) y también pueden ser objeto de estudio desde el punto de vista ecológico, ya que al conocer sus características aerodinámicas pueden entenderse los fenómenos de dispersión a corta o larga distancia. Sin embargo, los estudios palinológicos se han concentrado principalmente en los granos de polen debido a su aplicación en aspectos médicos (Gómez-Noguez *et al.*, 2013).

De acuerdo a su fisiología, los helechos pueden producir esporas clorofílicas y no clorofílicas (Ramírez-Trejo *et al.*, 2000), las primeras presentan cortos períodos de viabilidad (48 días en promedio) y germinan aproximadamente a los dos días debido a que la clorofila es rápidamente catabolizada (Mehltreter *et al.*, 2010); para las no clorofílicas, la viabilidad promedio es de un año o más como es el caso de los esporocarpos de *Marsilea*, que mantienen su viabilidad por 90 años y tienen una tasa más lenta de germinación entre 4-210 días (Pérez-García y Reyes-Jaramillo, 1993). Las esporas también se consideran por algunos autores como ortodoxas y

recalcitrantes (no clorofílicas y clorofílicas respectivamente), términos usualmente utilizados para las semillas, en donde las ortodoxas toleran la desecación como la baja temperatura mientras que las recalcitrantes no toleran las bajas temperaturas (Roberts, 1973); sin embargo, ambos tipos de esporas son tolerantes a la desecación por lo cual no se pueden considerar como recalcitrantes estrictamente u ortodoxas (Constantino *et al.*, 2000; Ballesteros, 2011). Aunado a esto, existe otro tipo de esporas recientemente descritas como criptoclorofílicas, las cuales tienen clorofila pero a simple vista no parecen verdes, además se comportan como esporas verdes en términos de tiempo de germinación y viabilidad (Sundue *et al.*, 2011), además la mayoría son epífitos y tienen una relación evolutiva con los helechos de esporas verdes (Tseng *et al.*, 2017).

La viabilidad de las esporas está determinada por factores intrínsecos como el genotipo, la edad o la capacidad de latencia y extrínsecos como las características del medio ambiente en donde se depositan las esporas, incluyendo el pH del suelo, la humedad, la temperatura, la calidad de luz y la proximidad de los competidores. La profundidad a la que pueden percolarse las esporas de helechos depende del tipo de suelo y de sus propiedades físicas (Woolley y Stoller, 1978; Gabriel y Galán y Prada, 2011).

Banco de esporas

Como producto de la esporulación, dispersión y deposición, las esporas pueden germinar inmediatamente o depositarse en el suelo, en el cual van constituyendo un reservorio que tiene la capacidad de permanecer en latencia hasta que las

condiciones ambientales sean favorables para su germinación (Paul *et al.*, 2014; Mehltreter *et al.*, 2010). Dicho reservorio de germoplasma es conocido como banco de esporas y se forma a partir de esporas de diferentes especies que llegan al suelo, por diferentes vías de dispersión, convirtiéndose en un componente en reposo, que junto con las semillas, yemas entre otros, se mantienen en latencia y tienen la capacidad de germinar si son llevadas por algún proceso o mecanismo a la superficie (Pérez-García *et al.*, 1982; Dyer y Lindsay, 1992; Ramírez-Trejo *et al.*, 2004), en un momento determinado (Marañón, 2001), Coles (1988) menciona que existen pocos movimientos de esporas y polen en suelos con poca actividad biológica, sin embargo, las esporas podrían ser llevadas a mayores profundidades dentro del suelo gracias a la porosidad y los espacios que han dejado las raíces o animales excavadores, de esta manera Schneller (1988) denota que el movimiento de las esporas en el suelo se debe principalmente a la actividad de nematodos y otros invertebrados. Así mismo las esporas de los helechos pueden quedar enterradas debido a la deposición de hojarasca o humus que queda sobre ellas y a través de la percolación, su desplazamiento puede ser influenciado por la forma de la espora y por la ornamentación del perisporio y tamaño diversos en este grupo de plantas (Tryon y Lugardon, 1990); por lo que, los bancos de esporas albergan el registro histórico de las especies locales (Major, 1990; Arjen de Groot y During, 2013).

En contraste, los bancos de semillas han sido más estudiados que los bancos de esporas. Por ejemplo Leck y colaboradores (1989), concluyen que estos juegan un papel importante en la vida de las angiospermas y gimnospermas, particularmente en

las colonizadoras de vida corta. En su caso los bancos de esporas funcionan de esta misma manera para briofitas *s. l.* y pteridofitas *s. l.* (Furness y Hall, 1981; During *et al.*, 1987; Duckett y Clymo, 1988; Dyer y Lindsay, 1992).

El banco es dinámico ya que existe un flujo continuo de aportes y pérdidas, donde los aportes están dados por la lluvia y la deposición de esporas y la pérdida por la germinación, la falta de viabilidad, la depredación, el parasitismo, etc. (Piudo y Cavero, 2005). El comportamiento de los bancos de esporas es muy variable dependiendo de las especies que lo conforman (Hernández *et al.*, 2012) y es uno de los procesos ecológicos de mayor relevancia en la reparación de la vegetación que promueven la variabilidad genética (Bedoya-Patiño *et al.*, 2010), ya que es un germoplasma latente que se constituye a partir de material producido en poblaciones naturales (Vázquez-Yanes, 1987).

Tanto los bancos de esporas y semillas, cumplen un importante papel en la recuperación de áreas que han sufrido disturbios (De Souza *et al.*, 2006) a través del establecimiento y regeneración de las poblaciones vegetales (Dalling, 2002; Hernández *et al.*, 2012). Su estudio plantea una alternativa de conservación (Ramírez-Trejo *et al.*, 2000; Montenegro-S *et al.*, 2006) y en particular los bancos de esporas de helechos son una herramienta de conservación *ex situ* prometedora (Ballesteros, 2011).

En los pocos estudios en bancos de esporas de helechos se ha tratado de responder tres preguntas: 1. ¿Cómo es la composición y la estratificación del banco de esporas en el suelo? 2. ¿Cuál es la mejor metodología de campo para

documentar la viabilidad de las esporas? y 3. Conocer la correspondencia entre el contenido del banco de esporas del suelo y la composición de la comunidad de helechos presentes en dichos sitios (Mehltreter *et al.*, 2010).

El tamaño y duración del banco puede variar dependiendo de las especies y las localidades, las cuales reflejan la dinámica de las poblaciones y las condiciones de establecimiento de las plantas (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1984). De acuerdo con su permanencia, pueden distinguirse tres tipos de bancos de esporas y semillas: 1) Los bancos transitorios o temporales que duran menos de un año, 2) Los bancos persistentes a corto plazo cuya duración es de uno a cinco años y 3) Los bancos persistentes a largo plazo, que permanecen activos más de cinco años (Marañón, 2001). Las diferencias entre los bancos, de un sitio a otro, dependen de la textura del suelo, del uso de suelo y a lo largo del tiempo de cambios temporales en la lluvia de esporas (Bedoya-Patiño *et al.*, 2010).

La profundidad a la que quedan depositadas las esporas es un factor que determina la composición y densidad del banco, siendo más viejas las enterradas a mayor profundidad (memoria evolutiva de la pteridoflora pasada de la comunidad) y más jóvenes las que quedan en la superficie (Piudo y Caveró, 2005). Sin embargo la densidad y diversidad del banco disminuye como consecuencia de los cambios estacionales de la zona (Dalling, 2002).

De acuerdo con Piudo y Caveró (2005), existen tres métodos para analizar el banco de esporas o semillas: 1) Método de enterramiento, en donde se entierran *in situ* las semillas y/o esporas a una profundidad conocida a la espera de la

germinación; 2) método de separación de esporas o semillas, puede ser por flotación en el caso de semillas y/o extracción tras el lavado y tamizado de la tierra para esporas y semillas con tamaño pequeño; y 3) el método de germinación, en donde se espera el desarrollo de las plántulas ya sean pteridofitas, angiospermas o gimnospermas en condiciones *ex situ*, siendo éste último el método más utilizado ya que se realiza en condiciones controladas favorables de luz, temperatura y humedad para que germinen las esporas (Marañón, 1995).

Así como las semillas, las esporas entran en un período de latencia (Montenegro-S *et al.*, 2006), la cual se define como la capacidad de mantenerse en un estado de inhibición del metabolismo e interrupción del desarrollo (Dyer, 1994; Vázquez-Yanes, 1990). También presentan un período de longevidad que se define como el tiempo de retención de la viabilidad en un estado latente. Existen dos tipos de longevidad, la potencial que se refiere a la duración máxima de la viabilidad que puede conseguir en condiciones de almacenamiento artificial y la ecológica que se refiere a la longevidad real (Vázquez-Yanes, 1987).

La germinación es un proceso fisiológico que para las plantas con semillas inicia con la imbibición de la semilla y posteriormente el crecimiento del embrión (González-Zertuche y Orozco-Segovia, 1996), mientras que en los helechos inicia cuando emerge la primera célula rizoidal y/o protálica (Mendoza *et al.*, 1996-1997). Los factores desencadenantes de la germinación son la humedad, la fluctuación de la temperatura de la superficie del suelo y la composición de la luz filtrada por el follaje (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1984; Dalling, 2002), la cual es importante

para las esporas fotoblásticas positivas (Raghavan, 1992). La tasa de germinación de gametofitos es uno de los factores primarios de la competencia que existe entre ellos por los recursos nutrimentales del microhábitat (Mehltreter y Palacios-Ríos, 2003). Después de la germinación, uno de los principales factores que determinan el establecimiento de la planta es la disponibilidad de agua y las condiciones medio ambientales (González-Zertuche *et al.*, 1999).

A pesar de las diferentes estrategias que presentan los helechos tales como la dispersión anemócora, los períodos largos de viabilidad de las esporas, la colonización de áreas favorables para su desarrollo y la liberación de esporas a través de un mecanismo especial de “catapulta” (Noblin *et al.*, 2012), sus poblaciones se ven afectadas por el cambio de uso de suelo, el cual reduce la disponibilidad de hábitats adecuados para su desarrollo (Mehltreter, 2008). De acuerdo con lo anterior, incluir a la comunidad de helechos en programas y estrategias de restauración ecológica será prioridad en los años venideros.

Restauración ecológica

Uno de los problemas que enfrenta la humanidad hoy en día, es la pérdida de comunidades vegetales (González-Zertuche *et al.*, 1999), su recuperación marca un punto importante para la conservación (Mendoza-Hernández, 2013). Los bancos de esporas tienen un papel clave en la función del ecosistema y en la restauración ecológica (Paul *et al.*, 2014). Ramírez-Trejo y colaboradores (2000) mencionan que “el mantenimiento y conservación de esporas vivas de helechos en muestras de

suelo, dista mucho de ser una forma sencilla de preservar el germoplasma por largos períodos de tiempo”.

Algunas de las medidas que se toman para evitar la pérdida de especies vegetales consisten en la creación de reservas territoriales, a través de la emisión de normas y reglamentos (Vázquez-Yanes, 1987). Estas áreas mantienen un equilibrio entre las necesidades del hombre y los recursos naturales, ya que pueden captar agua de lluvia para el mantenimiento del manto acuífero y evitar la erosión del suelo. Sin embargo, en México las condiciones políticas y el cambio de uso de suelo han sido un impedimento para su aplicación como estrategias de conservación y restauración (Álvarez-Sánchez *et al.*, 1982).

La restauración ecológica es el proceso de recuperar integralmente un ecosistema que se encuentra parcial o totalmente degradado, en cuanto a su estructura vegetal, composición de especies, funcionalidad y autosuficiencia, hasta llevarlo o restablecerlo a condiciones semejantes a las presentadas previas al disturbio (Antonio-Garcés *et al.*, 2009; Trombulak *et al.*, 2004; SEMARNAT y CONAFORT, 2009). Se busca reducir o revertir el deterioro de la naturaleza (Mendoza-Hernández y Cano-Santana, 2009); el cual se puede lograr con éxito a partir de un banco de propágulos autóctono (Marañón, 2001). Además de conservar, con este proceso se debe mejorar los medios de vida del hombre, facultar a los pueblos locales para que logren aprovechar el medio sin dañarlo y mejorar la productividad del ecosistema (Gann y Lamb, 2006). Por ello es necesario conocer la estructura, composición y funcionamiento del ecosistema dañado, así como la

magnitud de la perturbación y la biota nativa (Antonio-Garcés *et al.*, 2009). La dinámica sucesional de la vegetación que ocurrirá en un determinado lugar será dependiente, entre otras cosas de la severidad de la perturbación (Fernández *et al.*, 2010).

La sucesión ecológica es el proceso que gobierna el recambio de especies que a su vez permite el establecimiento de una nueva comunidad vegetal en un área que, regularmente es diferente a la que existía anteriormente a la perturbación (Bedoya-Patiño *et al.*, 2010). Está incluye modificaciones en la composición, estructura, distribución y abundancia de la flora en el espacio y en el tiempo (Fernández *et al.*, 2010).

Cano-Santana y Meave (1996), mencionan dos tipos de sucesiones ecológicas que pueden ocurrir en el derrame de lava del volcán Xitle: 1) La sucesión primaria que implica un cierto cambio unidireccional en la composición de especies en la estructura de la comunidad; y 2) La sucesión secundaria que tiene que ver con el cambio temporal y heterogéneo en la comunidad después de un disturbio. En este caso, el disturbio no alcanza a eliminar a todos los componentes vivos, ni destruye el suelo (Begon *et al.*, 2006).

Durante la sucesión secundaria, la composición de especies puede ayudar a determinar la estructura de la comunidad de plantas luego de algún disturbio (Montenegro-S *et al.*, 2006), la relevancia ecológica de los disturbios significan espacios libres para la colonización por plantas, en especial por las plantas cuya dispersión es anemócora (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1984). Por lo que es

preferible que la regeneración sea principalmente con especies nativas, aunque dependerá de la composición florística original del sitio y su prevalencia en el banco del suelo (Gálvez, 2002).

El reemplazo vegetal es posible manipularlo a través de la reforestación con especies nativas y/o exóticas, las introducciones, las reintroducciones, las translocaciones y los corredores biológicos cuya aplicación se encuentra en el campo florístico para especies que tienen baja capacidad de dispersión de diásporas (Gálvez, 2002). En ciertos casos donde los daños del sitio no son tan grandes, no es necesario realizar una restauración ecológica completa, sino una rehabilitación ecológica (Mendoza-Hernández y Cano-Santana, 2009).

Reintroducciones

Cuando se busca restaurar un área degradada para devolverla a su estado pre-disturbio con base en la biodiversidad, la reintroducción de especies vegetales puede contribuir a reconstituir el sistema (Gálvez, 2002). El objetivo principal de las reintroducciones es establecer una población auto sostenible (Mauder, 1992), mediante el restablecimiento de especies o genotipos que no se encuentran actualmente en el sitio del proyecto, pero que ocurrieron allí en el pasado (Falk *et al.*, 2006), ellas pueden incrementar significativamente los niveles de materia orgánica en el suelo y desencadenar el proceso de sucesión secundaria (Vargas-Ríos, 2011). La reintroducción suele tener costos más bajos y preserva la información genética de las comunidades autóctonas (Fernández *et al.*, 2010). Desde la década de los 90's, las reintroducciones se han convertido en una de las estrategias más utilizadas

para la conservación de plantas en ambientes naturales y semi-naturales (Maunder, 1992). Las reintroducciones pueden ser de dos tipos:

- a) Reabastecimiento: que tiene que ver con la liberación de individuos de una especie para reforzar la población existente, con el objetivo de incrementar la variación genética poblacional.
- b) Reintroducciones: Se refiere a la liberación deliberada de individuos de una especie dentro de un área de la que habían desaparecido, con el objetivo de establecer una población autosostenida y viable (Gálvez, 2002).

Existen dos estrategias de reintroducción:

- I. Puede ser por esporas o semillas en su caso para apresurar el restablecimiento de la cubierta vegetal del sitio. Las esporas o semillas son más convenientes por ser fáciles de conseguir, pero presentan complicaciones ya que existen depredadores que las pueden consumir.
- II. La otra opción es a través de plántulas, este proceso es más complicado pero asegura un establecimiento más rápido de ellas en la comunidad, sin embargo esta etapa debe ser controlada para asegurar el éxito de ellas (Fernández *et al.*, 2010).

La reintroducción de individuos de una especie a un ecosistema se justifica, cuando ha estado sometido a diferentes presiones antropogénicas o naturales causantes de diferentes formas de deterioro (Gálvez, 2002), tal es el caso del Parque Ecológico de la Ciudad de México.

Las comunidades de helechos son un componente de los ecosistemas que pocas veces se ha atendido en la restauración ecológica a través de la estrategia de reintroducción. La manera más sencilla para su inclusión en un programa de restauración es demostrar la importancia que tienen en las comunidades ya que son formadores de suelos, por lo cual se debe esperar la emergencia de los esporofitos de las especies nativas del área a restaurar.

Comunidades sintéticas de helechos

Podemos definir una comunidad sintética como el grupo mezclado de especies dominantes y escasas, arbustivas y arbóreas seleccionadas a partir de la composición florística del área de estudio considerando los distintos niveles de disturbio (Mendoza-Hernández, 2013). En ellas, las interacciones positivas entre las plantas, han sido consideradas como fuerzas que favorecen el ensamblaje de las especies particularmente en comunidades áridas (Brooker *et al.*, 2008), dichas interacciones modifican las características ambientales como el almacenamiento y la captura de agua, materia orgánica o nutrientes, entre otros (Maestre *et al.*, 2006; Shachak *et al.*, 2008).

Las comunidades sintéticas pueden utilizarse para compensar la pérdida de la biomasa vegetal, generar heterogeneidad microambiental, favorecer el establecimiento inducido y natural así como enriquecer la composición de especies durante la restauración (Mendoza-Hernández; 2013). Lo anterior es básico, ya que la capacidad de recuperación natural de los ecosistemas depende de la duración, extensión e intensidad del disturbio, así como de los mecanismos

de sucesión de cada ecosistema (Coop *et al.*, 2007), ya que pueden constituir una herramienta de manejo que contribuya a restaurar la vegetación de sitios alterados (Mendoza-Hernández; 2013), además, debe considerarse la vegetación de referencia que deberá definirse con base en la composición, la estructura y la función del bosque de encino y matorral xerófito (Rzedowski, 1954). Típicos biomas del sur de la Ciudad de México, donde se encuentra el PECM.

Historia y problemáticas del Parque Ecológico de la Ciudad de México

Aproximadamente entre 1870 y 2000 años atrás, se produjo una erupción del volcán Xitle, que originó el derrame de la lava que se extendió unos 80 km², cubriendo superficies que ahora ocupan las delegaciones Tlalpan, Magdalena Contreras, Coyoacán y Álvaro Obregón (Castillo-Argüero *et al.*, 2004; SEMARNAT, 2007). La erupción destruyó completamente la vegetación (Cano-Santana y Meave, 1996). La corriente de lava, al enfriarse y solidificarse formó un sustrato muy irregular, con presencia de una cantidad de accidentes topográficos como cuevas, grietas y hondonadas; la roca basáltica ha sido sometida a variaciones continuas de temperatura, lo cual provocó su fracturación (Álvarez-Sánchez *et al.*, 1982; Cano-Santana, 1994) formando lo que se le conoce como “El Pedregal del Xitle”, el cual se encuentra en el cinturón volcánico transmexicano (Siebe, 2000). El relieve topográfico ha generado una alta heterogeneidad espacial, lo que provocó una alta diversidad vegetal que se asocia a condiciones microclimáticas distintas (Valiente-Banuet, 1990; González-Hidalgo *et al.*, 2002; SEMARNAT, 2007).

Entre las rocas del Pedregal estuvo y aún está la mayor diversidad de la región (Carrillo-Trueba, 1995). Esto se debe a la situación biogeográfica del Valle de México, ubicado a la mitad meridional de la República (considerada una de las regiones más ricas en el mundo en cuanto a su flora) (Álvarez-Sánchez *et al.*, 1982), al gradiente altitudinal de 2250-3100 msnm (Castillo-Argüero *et al.*, 2004); por lo cual ahí, se encuentra una comunidad compleja y muy diversa de plantas (Cano-Santana, 1994).

El PECM fue decretado el 28 de junio de 1989, como una zona sujeta a conservación ecológica, cuenta con una superficie de 727.61 ha (Gobierno del DF, 2006-2012), se asienta sobre el sustrato basáltico del derrame del volcán Xitle (Cano-Santana *et al.*, 2008), el tipo de vegetación mejor representado es el matorral xerófilo, así mismo se encuentran bosques de *Quercus* y vegetación secundaria (González-Hidalgo *et al.*, 2001).

El deterioro de la Cuenca de México está relacionado con el incremento poblacional antropogénico (Mendoza-Hernández y Cano-Santana, 2009). Su acelerado crecimiento provocó que la extensión del Pedregal se haya reducido hasta el 10% de su área original (Cano-Santana *et al.*, 2008). Entre los años 1987 y 1989 se invadió por un asentamiento humano irregular que perturbó 726 hectáreas (Schteingart, 1987; González-Hidalgo *et al.*, 2001; Antonio-Garcés *et al.*, 2009). El Valle de México hoy en día es apenas una sombra de lo que fue (Rojo-A y Rodríguez, 2002), y tal como lo menciona Carrillo-Trueba (1995) “La urbanización resultó un proceso aún más poderoso y por lo menos tan destructor como la lava”.

Mientras que Cano-Santana y Meave (1996) hacen una analogía entre la urbanización y la erupción volcánica, ya que ambas destruyen el paisaje existente.

Las comunidades biológicas del PECM, después de la expropiación del asentamiento urbano irregular quedaron con cicatrices del disturbio, de las cuales fueron la fragmentación del paisaje e incluso la pérdida de la cobertura vegetal (Bonfil, 2006), por lo que la restauración a través de las comunidades sintéticas plantea una alternativa para lograr el mayor éxito de sobrevivencia.

ANTECEDENTES

Bancos de esporas en México

El banco de esporas es importante para la colonización de los sitios por los helechos (Penrod y McCormick, 1996) así como proporcionar las condiciones microambientales (luz, temperatura, humedad).

Existen escasos ejemplos de estudios sobre bancos de esporas en el mundo, en comparación con otras líneas de investigación. Hernández y colaboradores (2012), estudiaron el banco de esporas de dos especies de pteridofitas ubicadas en un bosque de pinos en España, cuyos resultados demuestran que a mayor profundidad del suelo hubo menos desarrollo de gametofitos, además, la profundidad alcanzada por las esporas puede estar relacionada con su ornamentación y tamaño, a parte de las características del suelo.

Sabemos que los helechos presentan fuertes presiones de selección durante su establecimiento, como pueden ser la falta de agua en las zonas secas, las cuales

podrían estar propensas al fuego (Paul *et al.*, 2014), sin embargo no sabemos nada o casi nada sobre los bancos de esporas, por lo que el estudio de estos se vuelve una oportunidad para conocer más sobre ellos.

El estudio de los bancos de esporas de helechos en México ha sido escaso, no obstante existen algunos trabajos en diferentes áreas de México.

Pérez-García y colaboradores (1982) demuestran la existencia de un banco de esporas en la Reserva de la Biósfera de Los Tuxtlas, además notaron más desarrollo de gametofitos en zonas con mayor iluminación, por lo cual podemos afirmar que las esporas dependen de factores abióticos como la luz, disponibilidad de agua, etc.

Ramírez-Trejo y colaboradores (2000) trabajaron en bosque mesófilo de montaña. Igualmente encontraron formaciones de bancos de esporas en el suelo y denotaron su importancia, además el banco de esporas puede plantear una alternativa de conservación de los helechos en zonas que sufrieron alguna perturbación.

Posteriormente, Ramírez-Trejo y colaboradores (2010) estudiaron el efecto del fuego en la germinación de esporas de *Pteridium*, encontraron como resultado que los bancos de esporas en el suelo depende en gran medida de las temperaturas que se producen en la capa superficial del suelo, pues el calor excesivo puede ser letal para las esporas.

Todo lo anterior, sugiere que el manejo de las comunidades y poblaciones de helechos pudiera ser una ruta de investigación de gran valor en el contexto de la restauración de la cubierta vegetal en México.

La restauración ecológica en México

Una política ambiental puede permitir el establecimiento de reservas y la rehabilitación de zonas de importancia ecológica (Martínez-Romero, 1996), sin embargo es uno de los grandes desafíos para México (SEMARNAT y CONAFOR, 2009), pues al iniciar la industrialización del centro del país, el tamaño poblacional aumentó y ocasionó un cambio en los ecosistemas terrestres (Schteingart, 1987). El crecimiento demográfico desde los años 50's, sobre todo en los derrames volcánicos al sur de la Ciudad, han sido el cimiento de unidades habitacionales, zonas residenciales, centros educativos y deportivos (Mendoza-Hernández y Cano-Santana, 2009). La restauración ecológica de los pedregales, en particular de las comunidades vegetales perturbadas por asentamientos urbanos en el PECM, es un gran reto (Mendoza-Hernández *et al.*, 2016).

En general el deterioro de los ecosistemas ha sido provocado por el crecimiento poblacional y la falta de leyes que protejan de manera adecuada las áreas protegidas.

JUSTIFICACIÓN

En esta investigación y con base en el estudio y conocimiento de los bancos de esporas, se plantea una alternativa de restauración ecológica de la pteridoflora a través de la reintroducción activa de plántulas de helechos obtenidos del banco de esporas del PECM.

El PECM es un ecosistema importante, ya que cuenta con una riqueza de flora y fauna, además ofrece servicios ambientales como la recarga de mantos acuíferos (Cano-Santana *et al.*, 2008). Ésta reserva puede servir como modelo de estudio sobre la sucesión, los procesos de extinción de las especies, y aplicación de métodos de restauración ecológica, ya que se encuentra en una etapa sucesional intermedia entre comunidades pioneras de helechos xerófitos y otros grupos de plantas (Soberón *et al.*, 1991).

Debido a que los helechos se consideran buenos indicadores de los cambios ambientales y brindan servicios ambientales, juegan un papel importante en la estabilización y formación de suelos y generan condiciones para el establecimiento de otras especies vegetales (Page, 1979; Tejero-Díez y Torres-Díaz, 2016), su regeneración es importante en el contexto de la recuperación de la cubierta vegetal del sotobosque, y por ende en la conservación de áreas naturales protegidas, dado que la velocidad del deterioro de los ecosistemas en México ocurre a una tasa sin precedentes y constituye la principal amenaza a la permanencia de las comunidades vegetales, la información generada a partir del estudio del banco de esporas podría ser utilizado para promover el repoblamiento de especies de pteridofitas en la zona

de estudio. En este sentido se plantean algunas de las preguntas de investigación que serán abordadas.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Si sabemos que los helechos producen una gran cantidad de esporas (Dyer y Lindsay, 1992) y que éstas son liberadas y dispersadas por el viento (dispersión anemócora), para ser depositadas en el suelo, entonces:

- ♣ ¿Cuál será la cantidad de esporas germinables (número de gametofitos) de helechos en el suelo que encontraremos en las muestras recolectadas del Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM)?
- ♣ ¿Las características del suelo, la humedad y la temperatura afectarán la germinación de las esporas?
- ♣ ¿Cuáles serán las diferencias en el porcentaje de desarrollo de gametofitos y esporofitos comparando la zona cubierta y la zona expuesta?
- ♣ ¿Podremos inferir la importancia que juegan los bancos de esporas de helechos en el PECM?

HIPÓTESIS

- Si en una comunidad vegetal existe una especie dominante de helechos, entonces se esperaría que la mayoría de los esporofitos presentes en el banco de esporas pertenezcan a ella.
- Si la formación de bancos de esporas depende de la porosidad y tipo de suelo, factores intrínsecos y extrínsecos, entonces se esperaría que cada uno de estos

factores modifique la cantidad de esporas germinadas en los distintos estratos y en las diferentes zonas de estudio.

- Si la deposición a través de la lluvia es la principal forma en que las esporas penetren el suelo, entonces éstas se encontrarán a diferentes profundidades en temporada de secas y temporada de lluvias.

OBJETIVO GENERAL

- Realizar un estudio ecológico de los bancos naturales de esporas de helechos que se encuentran en el PECM, con miras a su utilización para la restauración de ecosistemas degradados.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las especies de helechos que se encuentran en el PECM (vegetación en pie).
- Comparar el porcentaje de germinación de esporas de helechos entre la zona cubierta y zona expuesta del PECM.
- Determinar los géneros de helechos obtenidos en el banco de esporas.
- Comparar los esporofitos jóvenes emergentes obtenidos en el cultivo con los esporofitos que se encuentran naturalmente en el PECM.
- Proponer algunos lineamientos sobre un programa de reintroducción de pteridofitas en las áreas degradadas de la reserva.

MATERIAL Y MÉTODOS

Delimitación del área de estudio

El Parque Ecológico de la Ciudad de México, se encuentra situado en la Delegación Tlalpan, en las coordenadas 19°10'00" y 19°14'30" de latitud N y los 99°16'40" y 99°13'00" de longitud O a una altitud entre 2360-2860 msnm, ubicado en la parte media de la Sierra del Ajusco, en las faldas del volcán Xitle (sobre derrame de lava) y cuenta con una superficie de más de 727.61 hectáreas (Fig. 1) (Araiza-Ramírez, 2007; Rojo-A y Rodríguez, 2002; Gobierno del Distrito Federal, 2006-2012; Mendoza-Hernández, 2013).

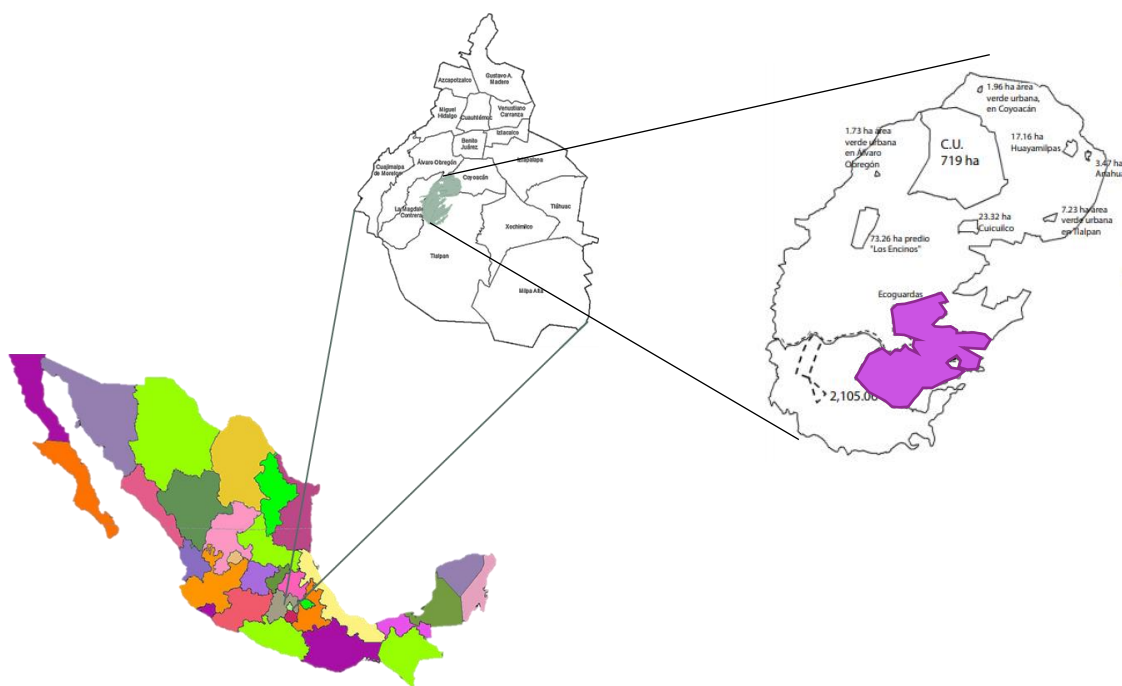


Fig. 1. Ubicación del Parque ecológico de la Ciudad de México. Tomado de Lot y Camarena (2009) y modificado.

Caracterización ambiental del sitio

El clima del PECM es templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano, la precipitación media anual es de 833 mm y la temperatura media anual de 15.6°C. La profundidad del suelo varía entre 0 y 30 cm, la mayor parte del PECM presenta rocas ígneas basálticas y existen tres tipos de suelo: el litosol, el feozem húmico y el andosol húmico (Castillo *et al.*, 2007; Mendoza-Hernández, 2013).

Actualmente en los fragmentos más altos de la reserva existen algunos bosques de *Pinus*, *Abies* y *Quercus*, mientras que en las zonas medias y bajas predomina un matorral xerófilo (Castillo *et al.*, 2007; Gobierno del Distrito Federal, 2006-2012).

Diseño de muestreo

Para el estudio del banco de esporas se delimitaron dos zonas de estudio, ambas de 20 m², la zona con más intensidad lumínica, cuyo tipo de vegetación está descrito como matorral xerófilo y se encuentra más próximo al camino principal fue denominado como “zona expuesta”, mientras que la zona con mayor cobertura vegetal, cuyo tipo de vegetación es bosque de encinos y se localiza más alejada del camino principal, fue denominada como “zona cubierta”.

Bimestralmente a lo largo de un año (septiembre 2015 a agosto 2016), se obtuvieron muestras de suelo en cada zona de estudio (cubierta y expuesta), tomadas en 5 puntos al azar a dos profundidades diferentes de 0-5 y 5-10 cm (dependiendo de las características del suelo, tales como pedregosidad y

exposición de la roca madre), se sacó una muestra representativa e integral de suelo de cada profundidad, utilizando la técnica de perfil de suelo para la extracción de las mismas (Reyes-Jaramillo, 2015). Una vez recolectado el suelo, se transportó al laboratorio en bolsas negras para evitar la evaporación del agua, la contaminación de la muestra y la germinación de esporas.

Se obtuvieron datos de la temperatura relativa del ambiente y del suelo a través de dispositivos llamados HOBO Temp; Data Logger; Light Meter LI-250 and Quantum Sensor LI-190SA y ESI, mediciones que se realizaron cada hora durante todo el año de muestreo a intervalos de una hora.

Se realizó un censo de la pteridoflora del PECM únicamente de las zonas cubierta, expuesta y la zona designada para la reintroducción de los esporofitos, los especímenes se recolectaron, prensaron, secaron e identificaron, siguiendo la técnica que describen Lorea y Riba (1990), depositando un ejemplar de respaldo en el Herbario Metropolitano de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa.

Análisis edafológico del suelo

De cada zona de estudio, se separaron 500 g de suelo para realizar las técnicas edafológicas básicas (Reyes-Jaramillo, 2015). Los parámetros analizados fueron: el color del suelo utilizando las tablas Munsell, por notación de color en seco y color en húmedo, el pH medido con un potenciómetro digital, en suspensión de suelo y agua destilada con relación suelo-agua de 1:2.5 para medir la concentración de iones y con el Hidrómetro de Bouyoucos se determinó la textura del suelo.

Cultivo de las muestras de suelo

Las muestras de suelo obtenidas en el campo se tamizaron con el fin de separar rocas, raíces, invertebrados, etc. Una vez tamizadas fueron colocadas en macetas de plástico de seis cm de altura por ocho cm de diámetro y se les agregó agua destilada a fin de que quedaran saturadas para propiciar la germinación de esporas. Las muestras se colocaron en bolsas transparentes de plástico y se colocaron en una cámara de crecimiento de plantas Lumistell^{MR} Modelo ICP-19, con un fotoperíodo de 12 horas luz, 12 horas oscuridad y una temperatura promedio de 18-25 °C.

Las observaciones de las muestras se realizaron con regularidad de dos a cuatro días posteriores al inicio de los experimentos, así como el riego de las mismas. Los parámetros analizados fueron el inicio de la germinación y el desarrollo del gametofito hasta la formación de los jóvenes esporofitos emergentes (las primeras 5 hojas) para tratar de determinar familias y géneros. Para documentar el desarrollo de las distintas fases de los gametofitos, se tomaron fotomicrografías con una cámara Olympus C-5060 wide zoom adaptada a un microscopio óptico (Olympus BX 41) y estereoscópico (Zeiss Stemi DV4 Spot). Se contabilizaron los gametofitos en los diferentes estadios de desarrollo (laminares y adultos).

La existencia de un banco de esporas se constató por el número de gametofitos observados y la riqueza del mismo dependió de los géneros identificados en las muestras. Así mismo, se realizó un análisis de Cluster y un

ordenamiento multidimensional no métrico (ANOSIM) con el programa Primer v 6.1 & PERMANOVA 1.0. Con la finalidad de saber qué puntos de las zonas de muestreo comparten mayor similitud de acuerdo a la profundidad en el número total de gametofitos observados en el banco de esporas.

Identificación de los esporofitos jóvenes

La identificación de especies se realizó con base en las características morfológicas y el uso de claves *ad hoc* (Ramírez-Trejo, 2002) propuestas por Mickel y Smith (2004), además de seguir lo propuesto por Castillo-Argüero *et al.*, (2007) y Mendoza-Ruiz y Pérez-García (2009). Para el género *Cheilanthes*, debido a que ha tenido cambios con base en estudios moleculares (PPGI, 2016), se le denominó como *Cheilanthes sensu lato*.

La identificación utilizando gametofitos es aún difícil, aunque es posible separar grupos de acuerdo a ciertas características morfológicas como la presencia de pelos o número de células que conforman la pared del anteridio, sin embargo es necesario esperar la emergencia y desarrollo del esporofito, ya que las características del mismo nos permitirán saber a qué familia y género corresponden.

Reintroducción de esporofitos

Para la realización de las reintroducciones el criterio usado fue seleccionar un área con severa fragmentación de la roca madre (volcánica), carente de estrato arbóreo y con matorral xerófito, usando el procedimiento de comunidades sintéticas descrito por Mendoza-Hernández y colaboradores (2013), éste sitio es consecuencia de una perturbación por fragmentación de la roca volcánica a través de la expansión

demográfica de la CDMX. Para la realización de la reintroducción se tomaron en cuenta dos factores, el primero era que las pteridofitas quedaran en lugares con sombra, con musgo a su alrededor y con especies vegetales que les facilitaran la obtención de nutrientes entre otros, y la segunda era que las pteridofitas quedaran en lugares con poca sombra, sin musgo a su alrededor y con pocas o ninguna especie cercana. Al mismo tiempo, se agregó un tipo de acolchado para prolongar la vida y supervivencia de las plantas.

Para lograr el mayor éxito en la reintroducción en el PECM de los esporofitos jóvenes obtenidos del banco de esporas, las plántulas fueron colocadas en un período de pre acondicionamiento, el cual consistió en adaptarlas lo más posible a las condiciones naturales. La primera etapa fue sacarlas de la germinadora en donde se encontraban con humedad, temperatura e intensidad luminosa controladas y pasarlas al invernadero del Instituto de Ecología UNAM, donde se quedaron aproximadamente tres meses en proceso de adaptación, en el invernadero la humedad, temperatura e intensidad luminosa no son controladas, posteriormente se llevaron al PECM en la zona designada para su reintroducción.

Se realizó un listado florístico en esta zona para identificar las especies que nos ayudará a conformar comunidades sintéticas de helechos del PECM.

RESULTADOS

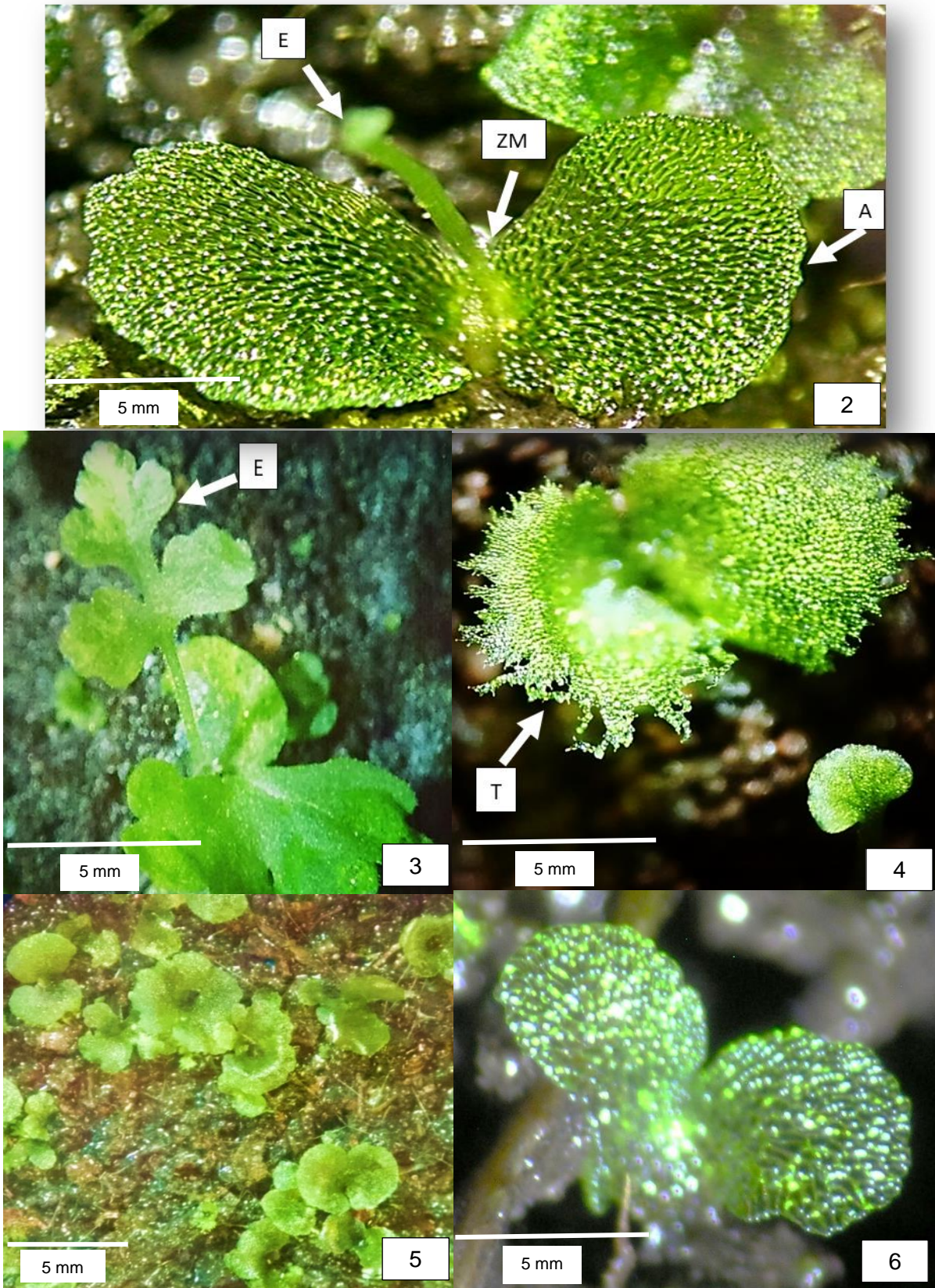
Banco de esporas

De cada sitio de estudios se obtuvo un número diferente de macetas de cada una de las profundidades muestreadas debido a la baja disponibilidad del suelo en las diferentes áreas muestreadas (Tabla 1).

Tabla 1. Número de macetas obtenidas por bimestre

BIMESTRE	NÚMERO DE MACETAS
1 (Sep-Oct 2015)	12
2 (Nov-Dic 2015)	16
3 (Ene-Feb 2016)	31
4 (Mar-Abr 2016)	30
5 (May-Jun 2016)	40
6 (Jul-Ago 2016)	40

Se obtuvieron 169 macetas en donde se desarrollaron un gran número de gametofitos en sus diferentes estados (filamentosos, laminares y adultos) y posteriormente se formaron los esporofitos jóvenes emergentes, así mismo se realizó un conteo de gametofitos, obteniendo como resultado 5,720 para la zona cubierta y 4,361 para la zona expuesta (Tablas 2 y 3; Gráficas 1, 2 y 3). La profundidad que va de 0-5 cm presentó un mayor número de gametofitos desarrollados en comparación de la profundidad de 5-10 cm con 5,839 y 4,120 respectivamente, lo cual no puede demostrar las esporas no se están percolando al suelo probablemente por la carencia de suelo. Además se hizo la recopilación de un acervo fotográfico de los gametofitos del banco de esporas (Figuras 2-6), con el cual se documenta la existencia de un banco de esporas en la zona de estudio.



Figs. 2-6: Gametofitos laminares y esporofitos creciendo en el banco de esporas A: Alas; E: Esporofito joven; T: Tricomas; ZM: Zona meristemática.

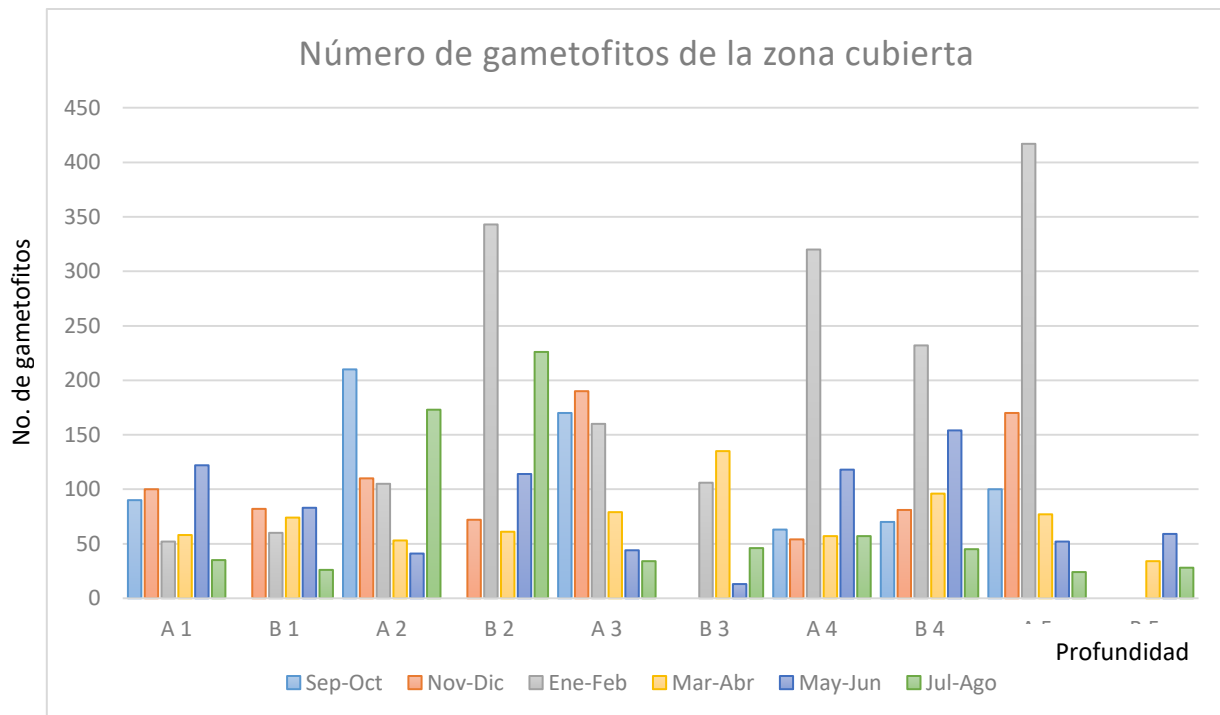
Tabla 2. Número total de gametofitos obtenidos en el banco de esporas de 0-5 cm de profundidad de ambas zonas. ZC= Zona Cubierta ZE= Zona Expuesta

	ZC	ZE	ZC	ZE	ZC	ZE	ZC	ZE	ZC	ZE
Sep-Oct 2015	90	12	210	30	170	130	63	96	100	35
Nov-Dic 2015	100	105	110	68	190	102	54	260	170	0
Ene-Feb 2016	52	153	105	196	160	140	320	76	417	152
Mar-Abr 2016	58	42	53	38	79	54	57	298	77	0
May-Jun 2016	122	154	41	46	44	82	118	85	52	11
Jul-Ago 2016	35	4	173	4	34	60	57	54	24	17

Tabla 3: Número total de gametofitos obtenidos en el banco de esporas de 5-10 cm de profundidad de ambas zonas. ZC= Zona Cubierta ZE= Zona Expuesta

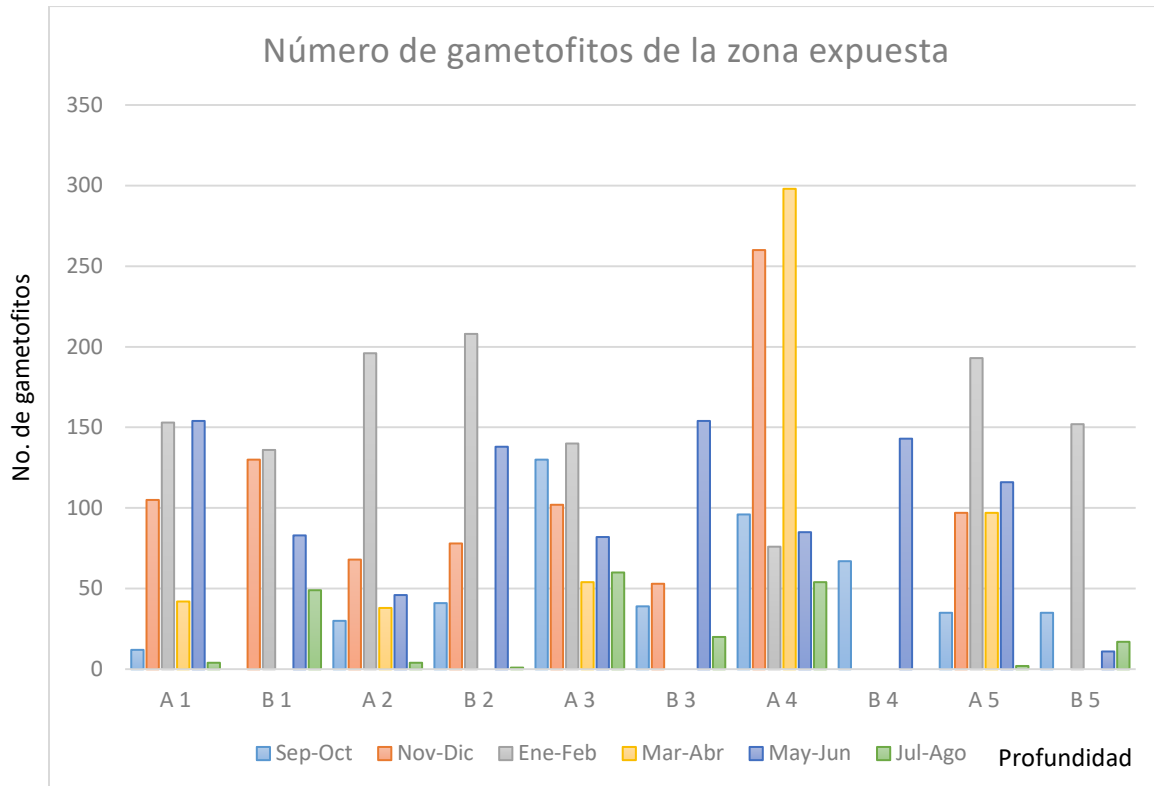
	ZC	ZE	ZC	ZE	ZC	ZE	ZC	ZE	ZC	ZE
Sep-Oct 2015	0	0	0	41	0	39	70	67	0	35
Nov-Dic 2015	82	130	72	78	0	53	81	0	0	97
Ene-Feb 2016	60	136	343	208	106	0	232	0	0	193
Mar-Abr 2016	74	0	61	0	135	0	96	0	34	97
May-Jun 2016	83	83	114	138	13	154	154	143	59	116
Jul-Ago 2016	26	49	226	1	46	20	45	0	28	2

En las gráficas 1 y 2 se muestran los datos del número total de gametofitos observados en las macetas por seis bimestres, realizando el conteo cada bimestre, en cada punto al azar con sus respectivas profundidades, la profundidad que va de 0-5 cm se denota como "A", mientras que la profundidad de 5-10 cm se denota como "B", recordando que para cada profundidad se realizaron cinco tomas de muestras al azar.



Gráf. 1: Número total de gametofitos observados en el banco de esporas de la zona cubierta.

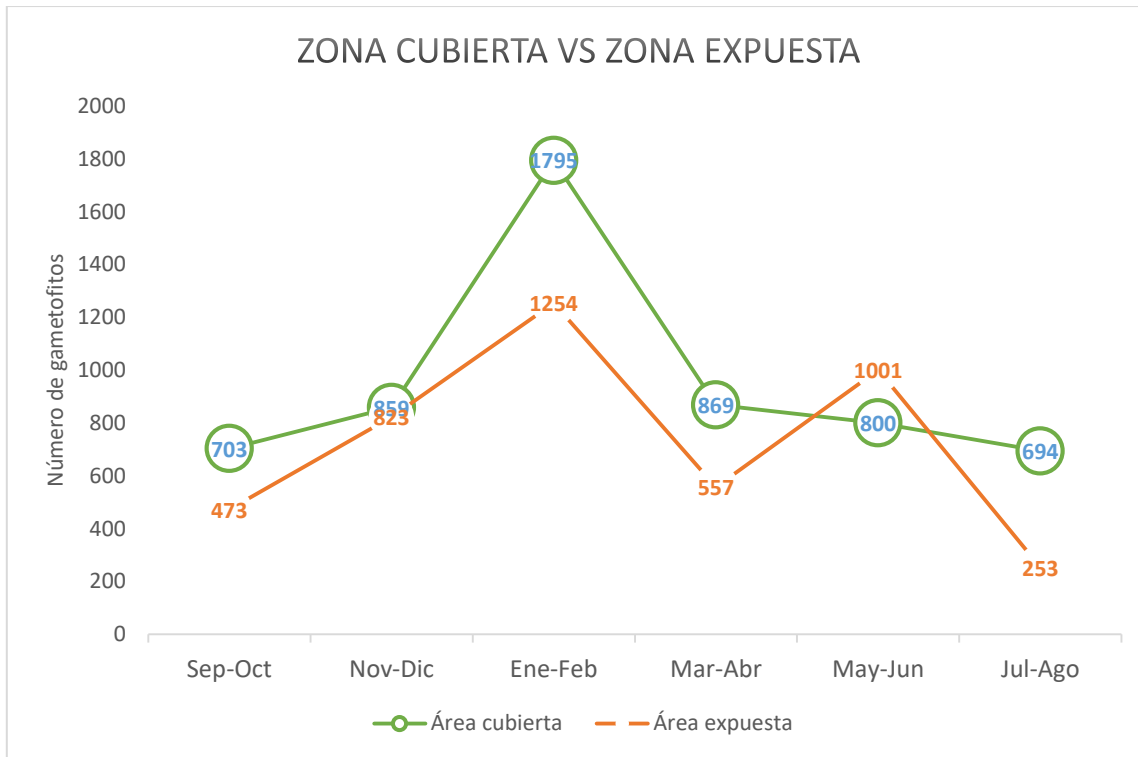
El número más alto en la gráfica 1 fue para el mes de enero-febrero en la profundidad de 0-5 cm con 417 gametofitos, mientras que el número más bajo fue para el bimestre de mayo-junio con la profundidad de 5-10 cm con 13 gametofitos desarrollados.



Gráf. 2: Número total de gametofitos observados en el banco de esporas de la zona expuesta.

El número más alto en la gráfica 2 fue para el bimestre de marzo-abril en la profundidad de 0-5 cm con 298 gametofitos, mientras que el número más bajo fue para el bimestre de julio-agosto con la profundidad de 5-10 cm con sólo 1 gametofito desarrollado.

Para ambas zonas de estudio, durante los meses de enero-febrero se presentó el mayor número de gametofitos (1,795 en la zona cubierta y 1,254 en la zona expuesta). El menor número se presentó en julio-agosto (694 en la zona cubierta y 253 en la zona expuesta) (Gráfica 3). Estos resultados podrían estar correlacionados con la temperatura y la presencia de lluvia.



Gráf. 3: Comparación del número de gametofitos totales por bimestre para cada zona de estudio

Con la finalidad de agrupar los puntos de muestreo en cada zona con mayor similitud, en cuanto al número total de gametofitos observados en el banco de esporas de la zona cubierta (Figuras 7 y 8) y expuesta (Figuras 9 y 10), se realizó un análisis de Cluster y un ordenamiento multidimensional no métrico (ANOSIM) con el programa Primer v 6.1 & PERMANOVA 1.0. Para ello, se denota como “A” la profundidad somera que va de 0-5 cm y “B” a la profundidad que va de 5-10 cm.

Número de gametofitos de la zona cubierta
Group average

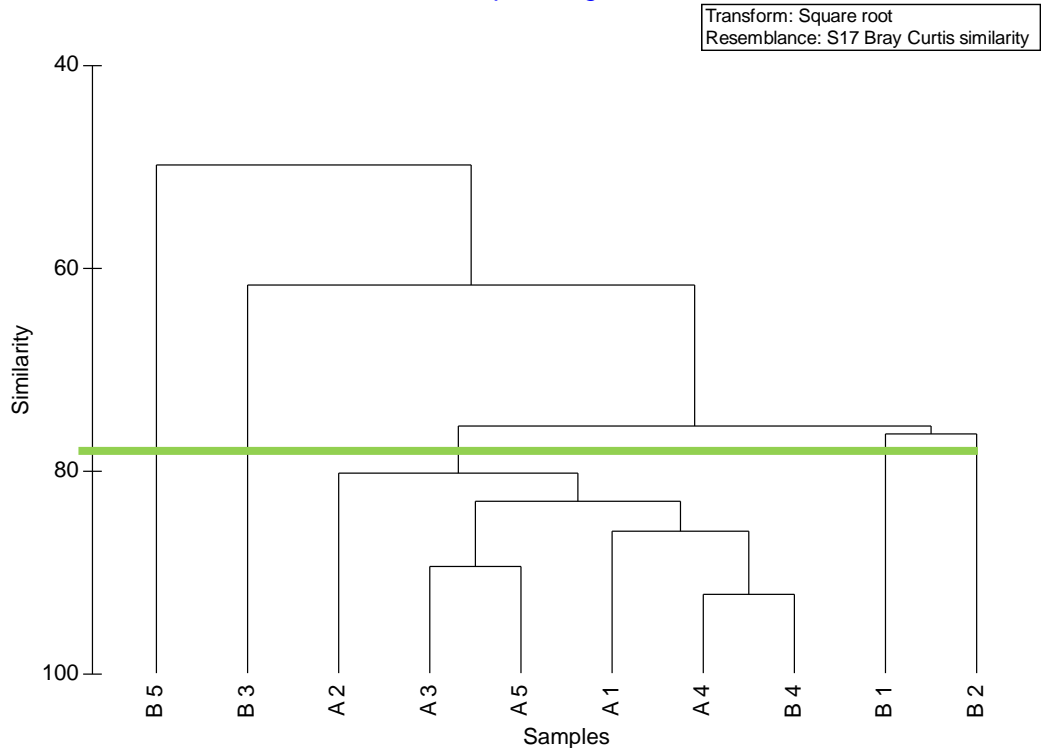


Fig. 7: Cluster de la zona cubierta

Número de gametofitos de la zona cubierta

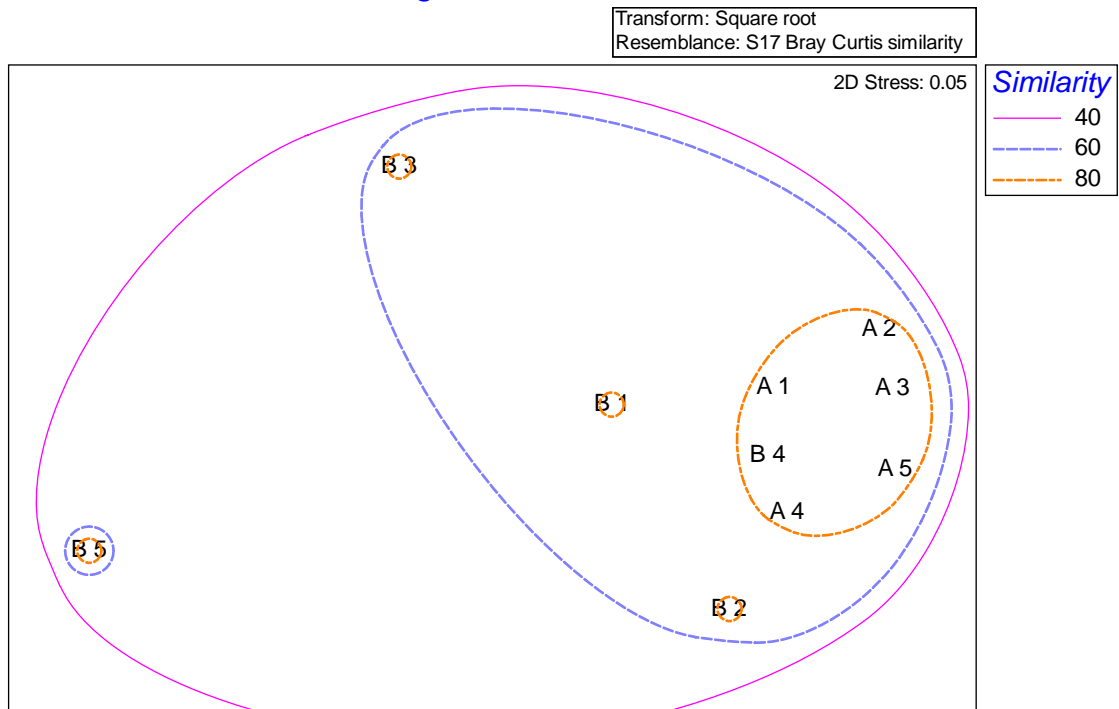


Fig. 8: ANOSIM de la zona cubierta

Los resultados para la zona cubierta (Figuras 7 y 8) muestran la similitud entre los diferentes puntos muestreados respecto a las profundidades, en donde la primera profundidad o profundidad somera es de 0-5 cm, representada como "A", se obtuvo un mayor número de gametofitos desarrollados en el banco de esporas, el cual fue constante en cada punto, dichos puntos quedaron agrupados en un solo grupo, en el análisis Anosim podemos observar que comparten un 80% de similitud entre los sitios muestreados. Con esto demostramos que la esporulación de las pteridofitas es constante a lo largo del año y que la deposición de una gran cantidad de esporas queda en este primer estrato. Por otro lado, la profundidad que va de 5-10 cm representada como "B", se obtuvo un menor número de gametofitos desarrollados en el banco de esporas y su número fue muy variable entre cada punto de muestreo, por ello quedaron dispersos en el análisis Cluster, mientras que en el análisis Anosim se lograron agrupar tres de estos puntos compartiendo el 60% de similitud. Estos resultados se pueden interpretar de dos formas: 1. Las esporas no se están percolando al suelo por la textura y/o carencia de suelo, la exposición a la roca madre o por la escasa lluvia en la zona y 2. Para el punto B4 cuya profundidad fue de 5-10 cm y que se agrupó con los puntos de la profundidad de 0-5 cm por la gran cantidad de gametofitos que se formaron, posiblemente al tomar la muestra, una parte del estrato superior o somero cayó dentro de él, porque la porosidad del suelo permite que las esporas se infiltren a mayor profundidad ya que fue similar a la profundidad somera.

Número de gametofitos de la zona expuesta
Group average

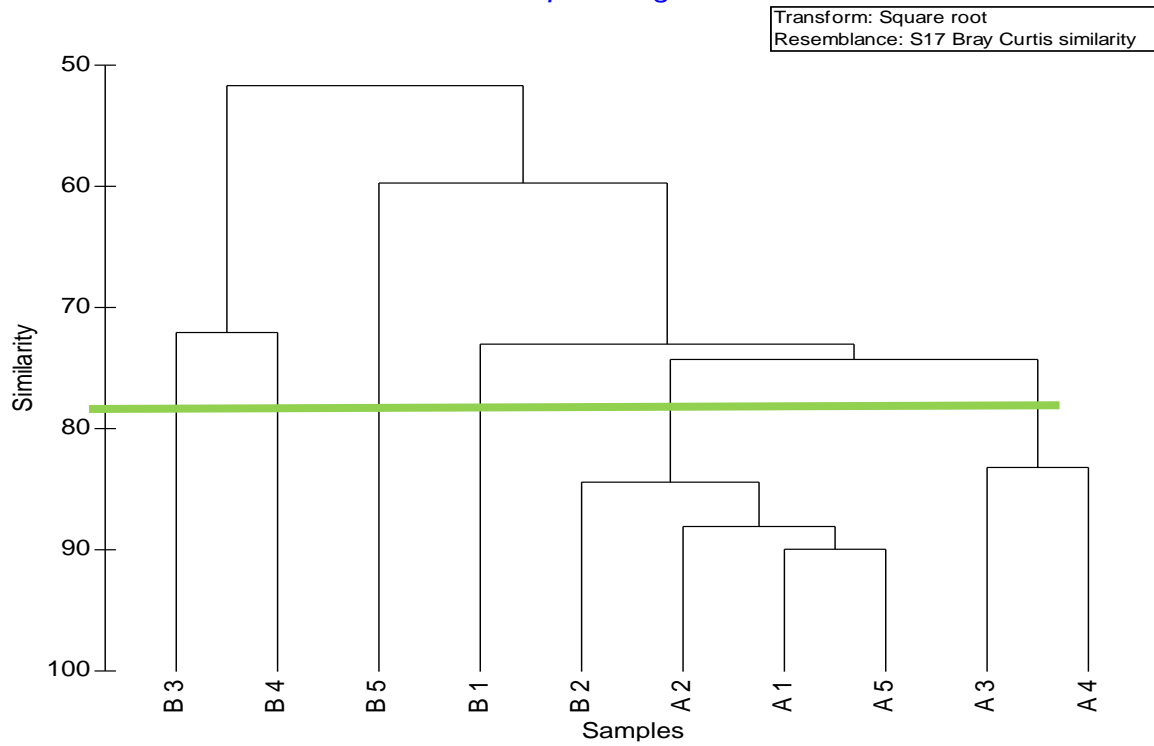


Fig. 9: Cluster de la zona expuesta

Número de gametofitos de la zona expuesta

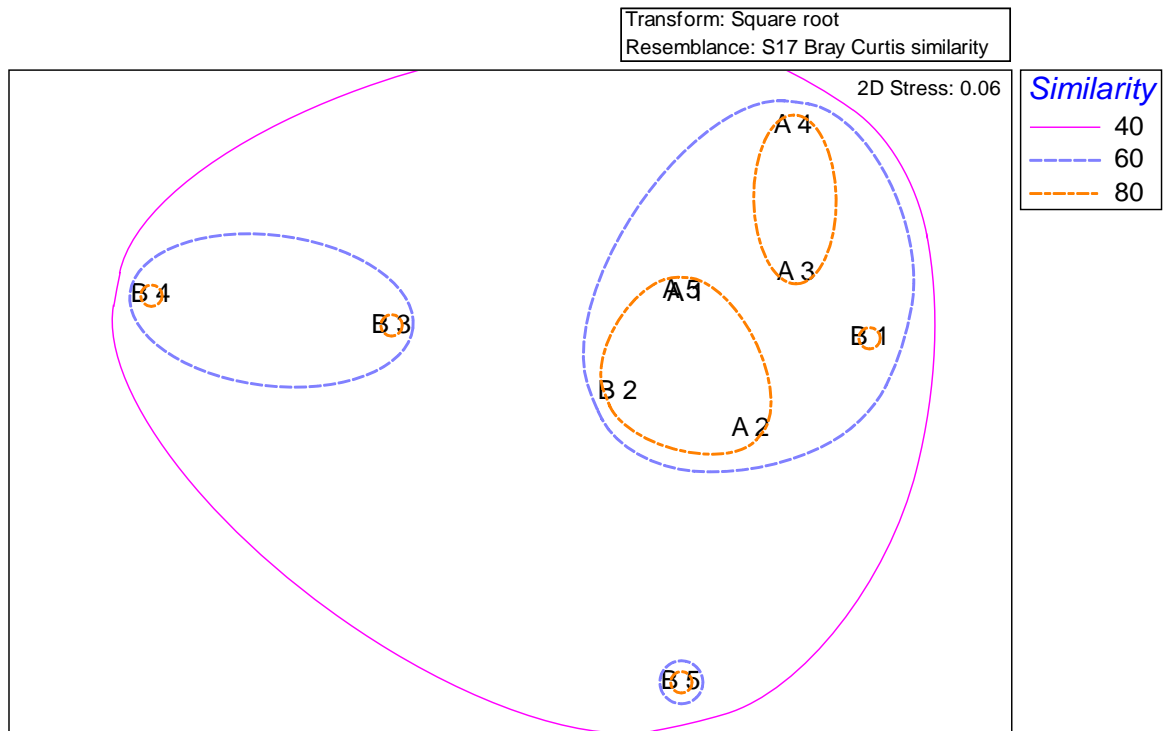


Fig. 10: ANOSIM de la zona expuesta

Los resultados para la zona expuesta (Figuras 9 y 10) muestran la similitud entre los diferentes puntos muestreados respecto a las profundidades de la zona expuesta, en donde la primera profundidad o profundidad somera es de 0-5 cm, representada como "A", y es donde se obtuvo un mayor número de gametofitos desarrollados en el banco de esporas, dichos puntos quedaron agrupados en dos grupos para el análisis Cluster y con el análisis Anosim podemos observar que comparten un 80% de similitud cada uno de estos grupos formados. Con esto demostramos que la esporulación de las pteridofitas es constante a lo largo del año, a pesar de encontrarse en condiciones menos favorables en comparación de la zona cubierta. Por otro lado, la profundidad que va de 5-10 cm representada como "B" obtuvo un menor número de gametofitos desarrollados en el banco de esporas y su número fue muy variable entre cada punto, por ello quedaron dispersos en el análisis Cluster, mientras que en el análisis Anosim logró sólo dos de estos puntos compartiendo el 60% de similitud. Por lo que nuevamente podemos decir que las esporas no se percolan en el suelo debido a la exposición a la roca madre y la escasez del suelo en ésta zona en particular, para el caso del punto B2 suponemos el mismo caso que en la zona cubierta, lo cual infiere contaminación en la toma de las muestras.

Identificación de esporofitos del banco de esporas

Los esporofitos emergentes que se desarrollaron de una manera exitosa se trasplantaron a otras macetas con la finalidad de evitar la competencia por

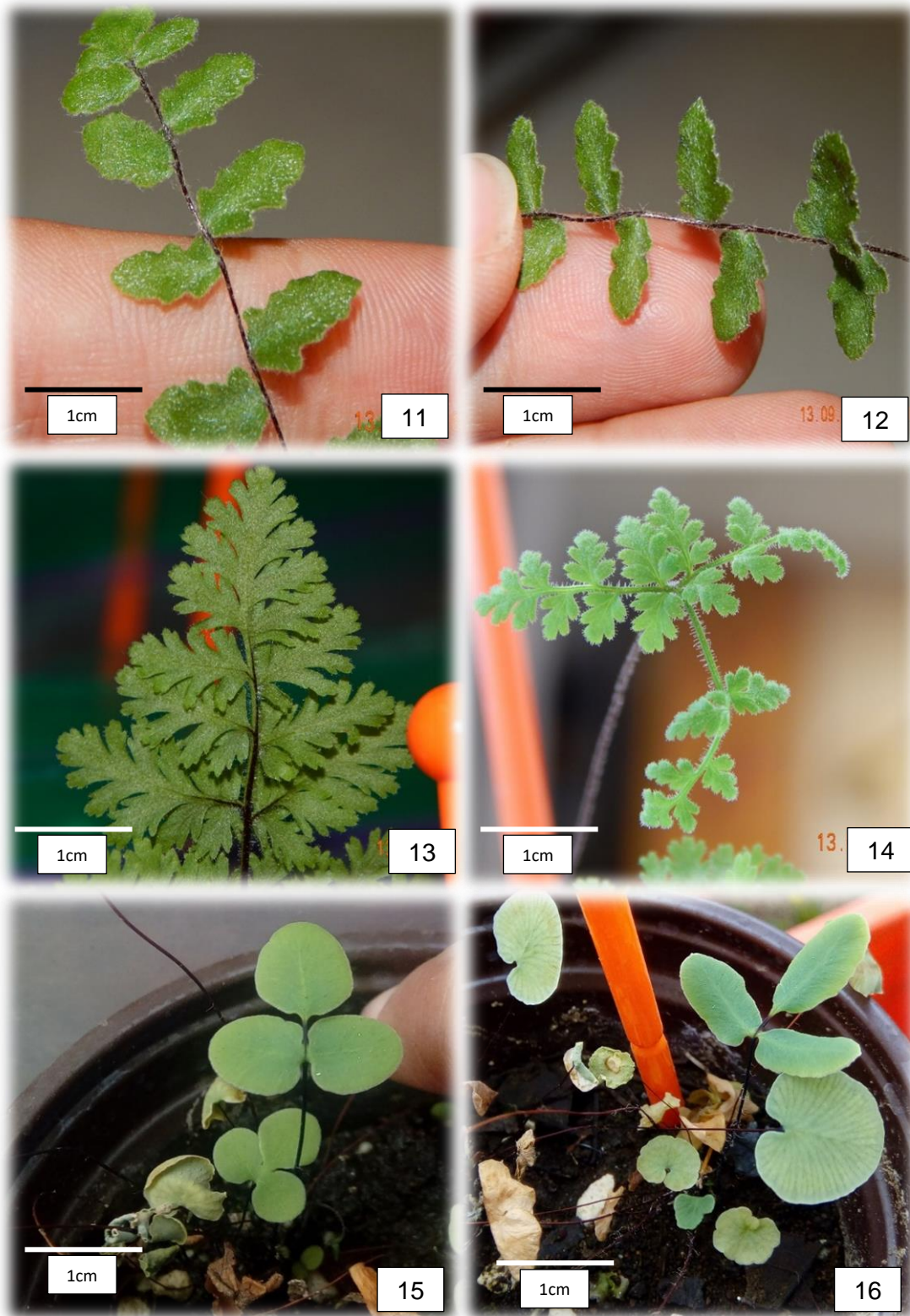
recursos entre ellos y así favorecer su crecimiento. Las macetas se colocaron en cámaras de crecimiento con luz, temperatura y humedad controladas.

La mayoría de los esporofitos fueron identificados a familia y género (Tabla 4; Figuras 11-22 y Anexo I).

En cuanto al género *Mildella* sólo se encuentra representado por una especie en el PECM, por ello podemos llegar a la conclusión de que el joven esporofito emergente del banco de esporas pertenece a la especie *Mildella fallax*. Los géneros *Notholaena*, *Pellaea*, *Adiantum*, *Thelypteris* y *Asplenium* se encuentran representados por más de una especie, por lo cual no fue posible determinar a cual especie corresponden, pues sus diferencias serán perceptibles cuando los individuos lleguen a su estado adulto y ser fértiles. Por último, el género *Nephrolepis* no tiene registro en el PECM ya que es ornamental y sólo se encuentra en las casas situadas dentro del Parque Ecológico de la Ciudad de México.

Tabla 4. Identificación de esporofitos en el banco de esporas por bimestre de septiembre del 2015 a agosto del 2016. CUB: zona cubierta, EXP: zona expuesta.

Familia	Género	SEP-OCT		NOV-DIC		ENE-FEB		MAR-ABR		MAY-JUN		JUL-AGO	
		CUB	EXP	CUB	EXP	CUB	EXP	CUB	EXP	CUB	EXP	CUB	EXP
Nephrolepidaceae	<i>Nephrolepis</i> spp.	-	X	X	X	-	X	X	X	X	X	-	-
Pteridaceae	<i>Cheilanthes</i> sensu lato	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pteridaceae	<i>Cheilanthes kaulfussii</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pteridaceae	<i>Mildella fallax</i>	X	-	-	X	X	-	X	X	-	-	-	-
Pteridaceae	<i>Myriopteris aurea</i>	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X
Pteridaceae	<i>Notholaena</i> spp.	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-
Pteridaceae	<i>Pellaea ternifolia</i>	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-
Pteridaceae	<i>Pellaea</i> spp.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pteridaceae	<i>Adiantum</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
Thelypteridaceae	<i>Thelypteris</i> spp.	-	-	X	-	X	-	X	-	X	-	-	-
Aspleniaceae	<i>Asplenium</i> spp.	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-



Figs. 11 y 12. Acercamiento a las pinnas de *Myriopteris aurea*. 13 y 14. Jóvenes esporofitos de *Cheilanthes kaulfussii*. 15 y 16. Primeras hojas de *Pellaea ternifolia*

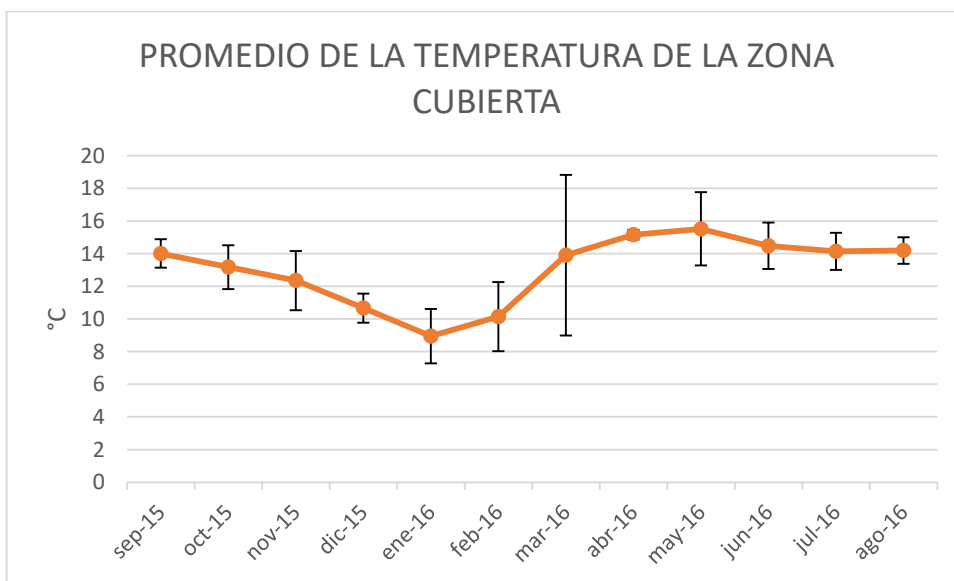


Figs. 17. Primera hoja de *Mildella* sp. 18. Fronda de *Pellaea* sp. 19. Acercamiento a las pinnas de *Nephrolepis* sp. 20. Acercamiento a la hoja de *Thelypteris* sp. 21 y 22. Acercamiento a la hoja de *Cheilanthes* s.l.

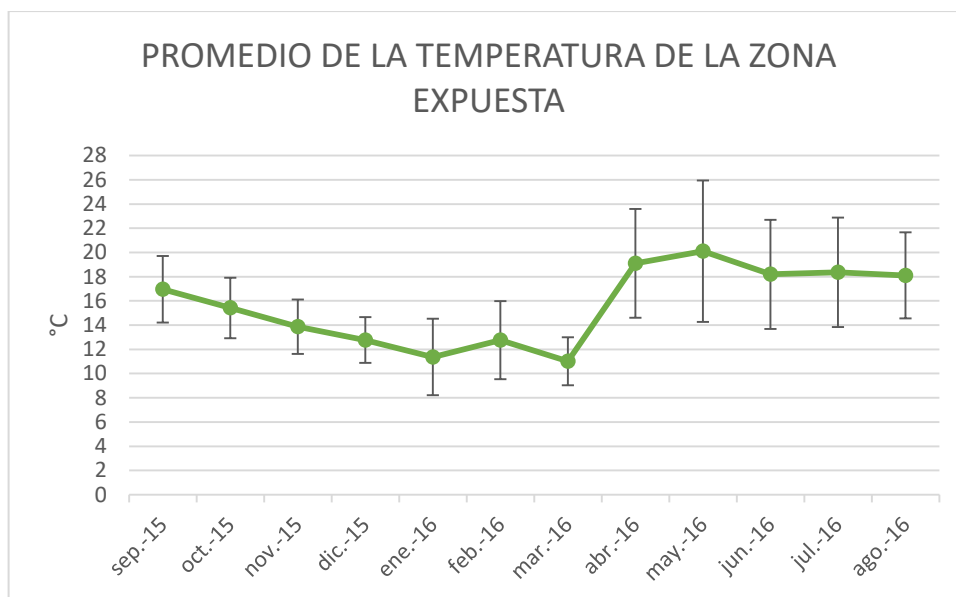
Medición de la temperatura

Los datos de temperatura obtenidos durante un año, de septiembre de 2015 a agosto de 2016, se encuentran representados en las gráficas 3 y 4 donde observamos la fluctuación de la temperatura por mes de cada zona muestreada.

Tomando en cuenta el promedio mensual, para la zona cubierta (Gráfica 3) el mes más cálido fue mayo, mientras que el mes más frío fue enero de 2016. El PECM tiene una marcada estacionalidad por ello en el mes de abril lo encontramos sin vegetación aparentemente y la intensidad luminosa es mayor, por el contrario en enero podemos encontrar un poco más de vegetación, sin embargo se llegan a presentar heladas. Los meses donde la temperatura se encuentra más estable que es de junio a septiembre se deben a la presencia de lluvias.



Gráf. 3. Variación de la temperatura en la zona cubierta



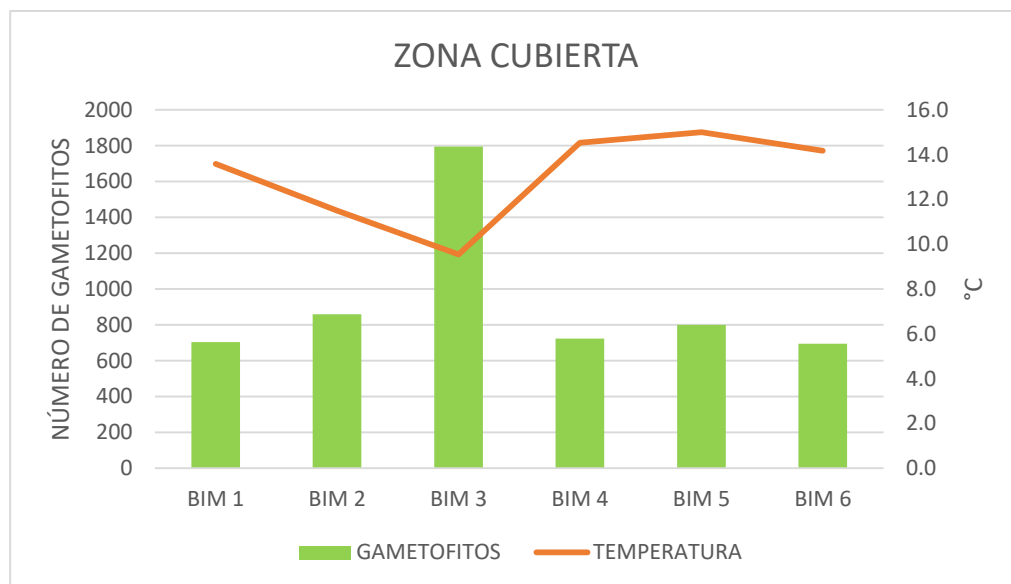
Gráf. 4. Variación de la temperatura en la zona expuesta

Así mismo para la zona expuesta (Gráfica 4) en cuanto al promedio de la temperatura, el mes más frío fue marzo de 2016 mientras que el mes más cálido fue mayo. Lo cual se puede deber al término de las heladas en el PECM para febrero y al término de las lluvias para octubre.

Comparación de la temperatura vs cantidad de gametofitos

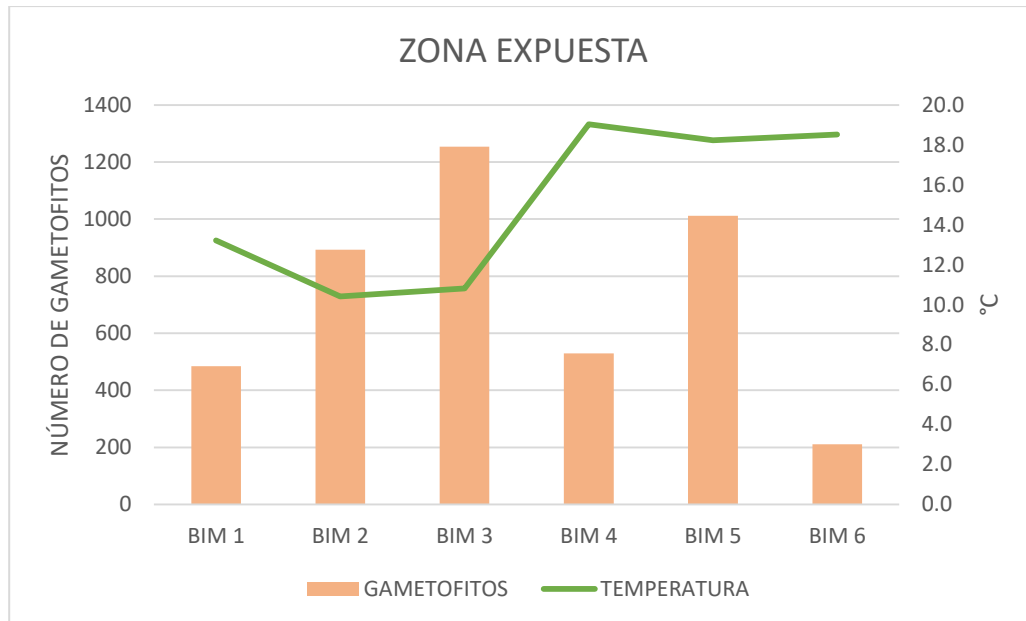
En el caso de la zona cubierta (Gráfica 5) el bimestre tres (enero-febrero) que corresponde a los meses con temperaturas bajas, que oscilaron entre los 10-15°C, obtuvo un mayor número de gametofitos desarrollados (1,795). Por el contrario, en el bimestre seis (julio-agosto), cuando la temperatura alcanzó sus niveles más altos, de 14-23°C, el número de gametofitos fue menor (694). Estos resultados posiblemente se deban a que en los meses cálidos los anillos de los esporangios se desecan y liberan las esporas, pero al carecer de las condiciones óptimas para

germinar, debido a la poca o nula disponibilidad de agua, las esporas se depositan en el suelo. Al terminar esta temporada seca, llegan las lluvias y con ello las esporas se percolan y pasan a formar parte de los bancos de esporas, en las zonas muestreadas, el suelo es somero y se erosiona fácilmente, razón por la que se encontraron más esporas en los meses fríos, además de que es probable que las esporas que encontraron un lugar óptimo germinaron.



Gráf. 5. Temperatura vs cantidad de gametofitos para la zona cubierta

Para la zona expuesta (Gráfica 6) el bimestre tres (enero-febrero) que corresponde a los meses de bajas temperaturas (4-6°C), se obtuvo un mayor número de gametofitos desarrollados (1,252). Por el contrario, en el bimestre seis (julio-agosto), cuando la temperatura alcanzó sus niveles más altos (16-20°C) el número de gametofitos fue menor (211).



Gráf. 6. Temperatura vs cantidad de gametofitos para la zona expuesta

Análisis edafológicos

Debido a que el tipo de suelo influye en la formación de los bancos de esporas, en ambas zonas de estudio se realizaron pruebas edafológicas, cuyos resultados fueron: el suelo era somero y en ciertos puntos la roca volcánica estaba expuesta, por lo que prácticamente no existía suelo. El pH fue ácido en ambas zonas con valores de 5.35 para la zona cubierta y 5.04 para la zona expuesta; la clase textural Franco Arenoso, pero el color variaba en la zona cubierta negro a gris muy oscuro, mientras que en la zona expuesta pardo grisáceo a negro.

Se realizó además una prueba rutinaria para demostrar la presencia de alofán (aluminio-silicato) que se encuentra en Andosoles y que se forma por el

intemperismo de la actividad volcánica. Estos análisis determinaron que el tipo de suelo es Leptosol, en ambas zonas de muestreo.

Identificación de material biológico

Los 51 ejemplares de pteridofitas y plantas a fines recolectados e identificados corresponden a un total de 20 especies (Tabla 5, Figuras 23-40). En la zona cubierta predominan los helechos epífitos del género *Pleopeltis* Humb. & Bonpl. ex Willd. En la zona expuesta predominan los helechos xerófitos (Anexo II). La especie que presentó mayor número de individuos fue *Myriopteris aurea* (Poir.) Grusz & Windham, presente en ambas zonas. Las menos frecuentes fueron *Woodsia mollis* (Kaulf.) J. Sm. y *Asplenium resiliens* Kunze, encontrándose poblaciones pequeñas de estas especies únicamente en la zona cubierta.

Tabla 5. Ejemplares de helechos y plantas a fines recolectados en el PECM

Familia	Especie
Aspleniaceae	<i>Asplenium monanthes</i> L.
Aspleniaceae	<i>Asplenium praemorsum</i> Sw.
Aspleniaceae	<i>Asplenium resiliens</i> Kunze
Dryopteridaceae	<i>Dryopteris cinnamomea</i> (Cav.) C. Chr.
Polypodiaceae	<i>Pleopeltis polylepis</i> (Roem. ex Kunze) T. Moore var. <i>polylepis</i>
Polypodiaceae	<i>Phlebodium pseudoaureum</i> (Cav.) Lellinger
Polypodiaceae	<i>Pleopeltis madrensis</i> (J. Sm.) A. R. Sm. & Tejero
Polypodiaceae	<i>Pleopeltis plebeia</i> (Schltdl. & Cham.) A. R. Sm. & Tejero
Polypodiaceae	<i>Pleopeltis thyssanolepis</i> (A. Braun ex Klotzsch) A. R. Sm. & Tejero
Polypodiaceae	<i>Polypodium subpetiolatum</i> Hook
Pteridaceae	<i>Gaga marginata</i> (Kunth) F. W. Li & Windham
Pteridaceae	<i>Mildella fallax</i> (M. Martens & Galeotti) Nesom

Pteridaceae	<i>Myriopteris aurea</i> (Poir.) Grusz & Windham
Pteridaceae	<i>Myriopteris myriophylla</i> (Desv.) Sm.
Pteridaceae	<i>Pellaea ovata</i> (Desv.) Weath.
Pteridaceae	<i>Pellaea cordifolia</i> (Sessé et Moc.) A. R. Sm.
Pteridaceae	<i>Pellaea ternifolia</i> var. <i>ternifolia</i> (Cav.) Link
Pteridaceae	<i>Pityrogramma ebenea</i> L. Proctor
Pteridaceae	<i>Adiantum concinnum</i> Humb. & Bonpl.
Selaginellaceae	<i>Selaginella pallescens</i> (C. Presl.) Spring
Woodsiaceae	<i>Woodsia mollis</i> (Kaulf.) J. Sm.

La mayor diversidad de helechos del PECM se encuentra en la familia Pteridaceae con siete especies, seguida de Polypodiaceae con seis (Figuras 23-40). En la familia Pteridaceae se encuentran los helechos considerados xerófitos.



Figs. 23-28. Esporofitos de helechos en el PECM. 23. *Asplenium monanthes*. 24. *Asplenium praemorsum*. 25. *Asplenium resiliens*. 26. *Dryopteris cinnamomea*. 27. *Pleopeltis plebeia*. 28. *Phlebodium pseudoaureum*.

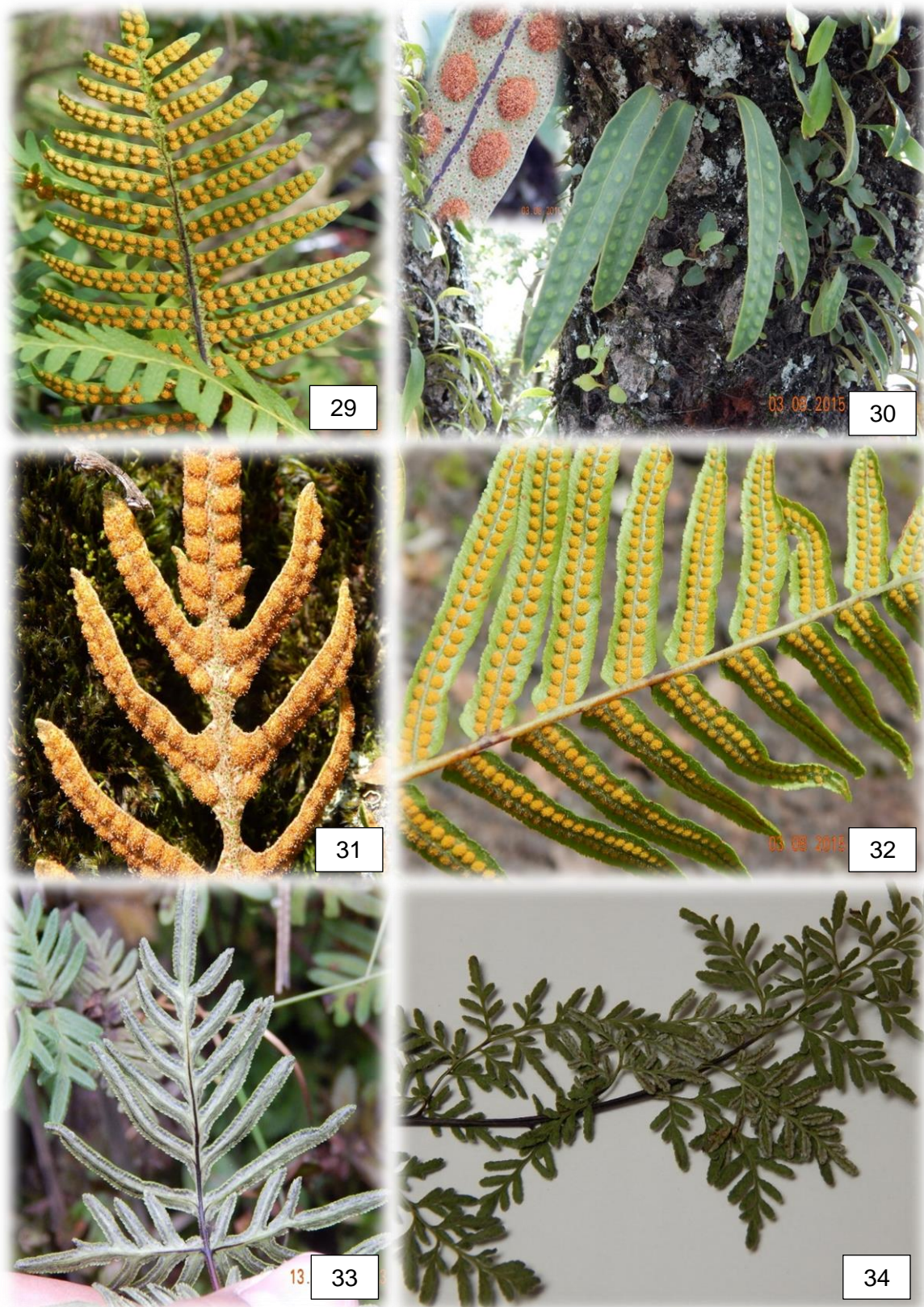
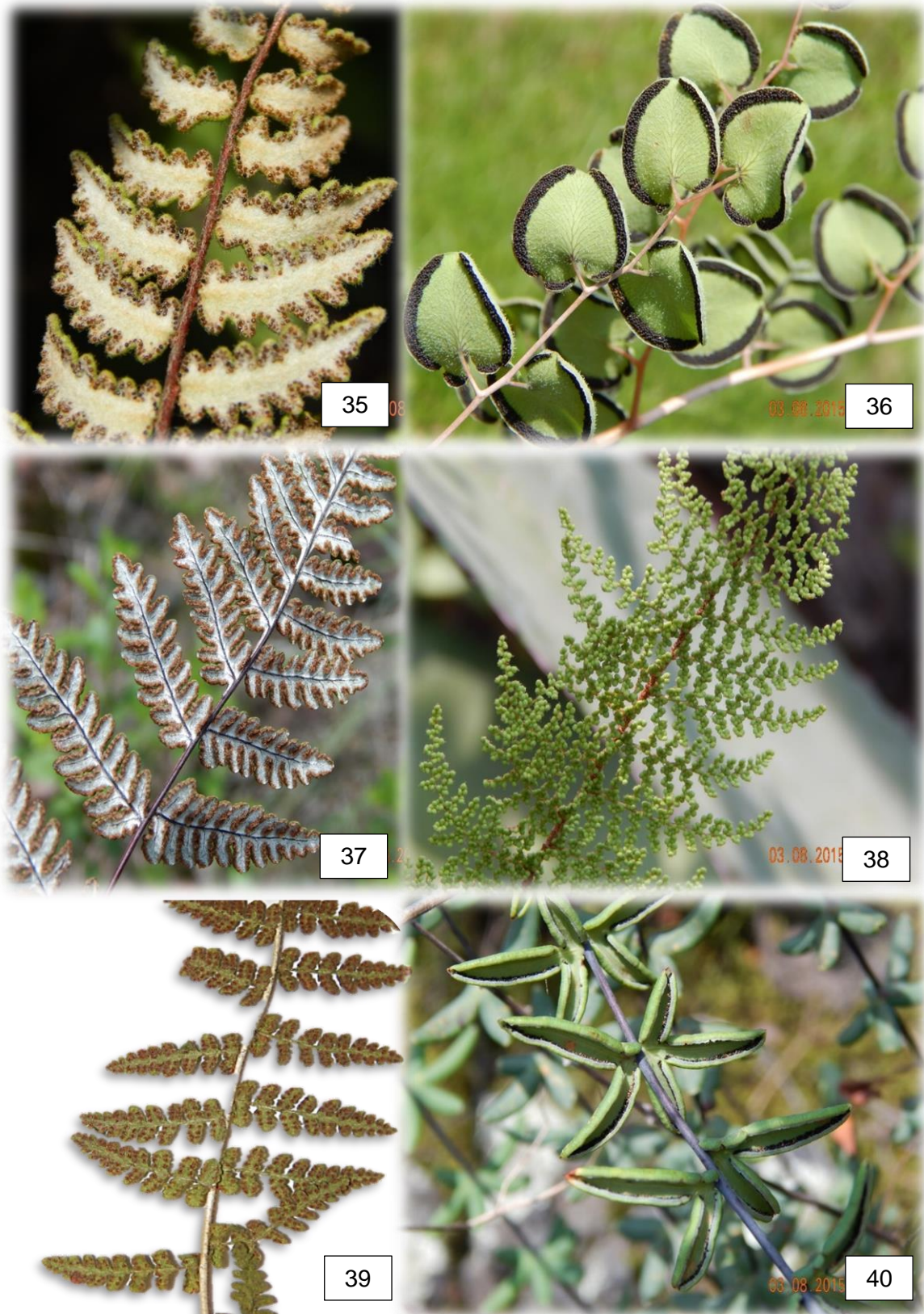


Fig. 29. *Pleopeltis madrensis*. Fig. 30. *Pleopeltis polylepis*. Fig. 31. *Pleopeltis thyssanolepis*. Fig. 32. *Polypodium subpetiolatum*. Fig. 33. *Mildella fallax*. Fig. 34. *Gaga marginata*.



Figs. 35-40. Esporofitos de helechos en el PECM. 35. *Myriopteris aurea*. 36. *Pellaea ovata*. 37. *Pityrogramma ebenea*. 38. *Myriopteris myriophylla*. 39. *Woodsia mollis*. 40. *Pellaea ovata*.

Reintroducción de pteridofitas

Los esporofitos jóvenes y emergentes formados en los bancos de esporas pertenecientes a: *Mildella fallax*, *Pellaea* sp., *Cheilanthes s.l.*, *Myriopteris aurea*, *Cheilanthes kaulfussii* y *Pellaea ternifolia* se reintrodujeron en la zona establecida, cuya perturbación era severa, debido a los rastros que dejaron las máquinas excavadoras que entraron en esa parte del PECM para construir viviendas, además de ser una zona con el estrato arbóreo casi nulo y el tipo de vegetación es matorral xerófito. *Notholaena* sp., no logró sobrevivir a las condiciones de pre-acondicionamiento.

El material correspondiente a *Thelypteris* spp., *Asplenium* spp. y *Adiantum* spp, no se reintrodujo ya que son especies que no se encuentran en el matorral xerófito, sino que los podemos ubicar en zonas con mayor humedad, *Nephrolepis* spp., igualmente no se reintrodujo, ya que no es una especie nativa del PECM.

Se realizó el listado florístico de la zona elegida para la reintroducción de las pteridofitas, dicho censo sirvió para observar la dinámica ecológica que tienen las plantas (helechos y angiospermas) al cohabitar la misma zona, con el propósito de demostrar que los helechos juegan un papel importante como formadores de suelo. Se colectaron especies del estrato herbáceo, arbustivo y epífita (Tabla 6), el estrato arbóreo se descartó para la colecta ya que en la zona sólo se encontraron dos árboles los cuales se ubicaban lejos de la zona donde se reintroducción a las pteridofitas.

Tabla 6: Listado florístico de la zona correspondiente a la reintroducción de las pteridofitas		
Familia	Especie	Estrato
Agavaceae	<i>Achillea millefolium</i> L.	He
Asteraceae	<i>Acourtia cordata</i> (Cerv.) Turner	He
Asteraceae	<i>Agave ferox</i> C. Koch	Ar
Asteraceae	<i>Ageratum corymbosum</i> Zuccagni	He
Asteraceae	<i>Ambrosia canescens</i> (Benth.) A. Gray	He
Asteraceae	<i>Ambrosia psilostachya</i> D C.	He
Asteraceae	<i>Archibaccharis serratifolia</i> (Kunth) S. B. Blake	He
Asteraceae	<i>Castilleja mexicana</i> Gray	He
Asteraceae	<i>Dahlia</i> sp.	He
Asteraceae	<i>Eupatorium</i> sp.	Ar
Asteraceae	<i>Gnaphalium americanum</i> Mill.	He
Asteraceae	<i>Gnaphalium</i> sp.	He
Asteraceae	<i>Piqueria</i> sp.	He
Asteraceae	<i>Piqueria trinervia</i> Cav.	He
Asteraceae	<i>Senecio praecox</i> (Cav.) DC.	Ar
Asteraceae	<i>Verbersiana virgata</i> Cav.	He
Bromeliaceae	<i>Tillandsia recurvata</i> (L.) L.	Ep
Cactaceae	<i>Opuntia</i> sp.	He
Commelinaceae	<i>Commelina coelestis</i> Willd. var. <i>coelestis</i>	He
Crassulaceae	<i>Altamiranoa mexicana</i> (Schlecht.) Rose	He
Crassulaceae	<i>Echeveria coccinea</i> (Cav.) DC.	He
Crassulaceae	<i>Echeveria gibbiflora</i> DC.	He
Crassulaceae	<i>Sedum oxypetalum</i> Kunth	He
Crassulaceae	<i>Sedum</i> sp.	He
Fagaceae	<i>Quercus rugosa</i> Neé	Ar
Hydrophyllaceae	<i>Wigandia urens</i> (Ruiz et Pav.) Kunth	Ar
Poaceae	<i>Aegopogon tenellus</i> (DC.) Trin	He
Poaceae	<i>Bouteloua repens</i> (Kunth) Scribn.	He
Poaceae	<i>Muhlenbergia robusta</i> (E.Fourn.) Hitchc.	Ar
Poaceae	<i>Rhynchelytrum rapens</i> (Willd.) C. E, Hubb.	He
Poaceae	<i>Setaria</i> sp.	He
Polemoniaceae	<i>Loeselia mexicana</i> (Lam.) Brand	He
Portulacaceae	<i>Portulaca mexicana</i> P. Wilson	He
Resedaceae	<i>Reseda luteola</i> L.	He
Rubiaceae	<i>Bouvardia ternifolia</i> (Cav.) Schltld.	He
Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	Ar

Scrophulariaceae	<i>Buchnera pusilla</i> Kunth	He
Scrophulariaceae	<i>Lamourouxia dasyantha</i> (Cham. et Schltdl.) W.R. Ernst	He
Scrophulariaceae	<i>Lamourouxia rhinanthifolia</i> Kunth	He
Scrophulariaceae	<i>Limosella aquatica</i> L.	He
Scrophulariaceae	<i>Penstemon campanulatus</i> (Cav.) Willd.	He
Scrophulariaceae	<i>Penstemon roseus</i> (Sweet) G. Don	He
Scrophulariaceae	<i>Penstemon</i> sp.	He
Scrophulariaceae	<i>Penstemon</i> sp.	He
Scrophulariaceae	<i>Verbascum virgatum</i> Stokes	He

He = Herbáceo Ar = Arbustivo Ep = Epífita

Comunidades sintéticas

En cuanto a las comunidades sintéticas de helechos, todas las taxa considerados para las comunidades son provenientes del banco de esporas del PECM, de esta manera se trató que cada comunidad incluyera una especie dominante, en este caso fue *Cheilanthes kaulfussii* junto con otras especies esto quiere decir que para las tres comunidades sintéticas diseñadas se agruparon de la siguiente forma:

1. *Cheilanthes kaulfussii* + *Myriopteris aurea* + *Cheilanthes s.l.* + *Mildella fallax* + *Pellaea ternifolia*
2. *Cheilanthes kaulfussii* + *Myriopteris aurea* + *Cheilanthes s.l.* + *Pellaea ternifolia*
3. *Cheilanthes kaulfussii* + individuos nativos de *Pellaea ternifolia*

De esta forma se establecieron tres comunidades sintéticas para reintroducirlas a la zona seleccionada, las comunidades fueron organizadas conforme al número de individuos. En la comunidad tres, la especie *Cheilanthes*

kaulfussii se colocaron cerca del género nativo *Pellaea ternifolia*, para que ambas especies logren coexistir y sobrevivir.

DISCUSIÓN

Banco de esporas

La composición del banco de esporas está ligada a la abundancia y composición de los esporofitos encontrados en la zona de acuerdo con Hernández y colaboradores (2012), lo cual concuerda con los resultados en la que *Cheilanthes* es más abundante en el PECM y fue este género al que pertenecían la mayor cantidad de esporofitos desarrollados en el banco de esporas seguido de *Pellaea* que al igual sus poblaciones en el PECM eran frecuentes. El almacenaje en el banco garantiza la persistencia, regeneración y la recolonización después de un disturbio o perturbación ya que es considerado material de conservación (Dyer, 1994; Hock *et al.*, 2006; During, 2013), por ello su importancia para la reintroducción de especies al PECM.

Pteridaceae, fue la familia con mayor número de especies desarrolladas en el banco de esporas, coincidiendo estos resultados con los de Rodríguez-Romero y colaboradores (2011), quienes igualmente trabajaron en un matorral xerófito. La familia comprende a nivel mundial cerca de 35 géneros, de los cuales 22 aproximadamente se encuentran en América Tropical (Arbeláez, 1996) tanto en ambientes tropicales como en ambiente xerofitos; lo cual puede explicar su abundancia en el PECM ya que algunas de estas especies son considerados helechos xerófitos, por ello su abundancia en este tipo de ambientes.

Paul y colaboradores (2014) mencionan que las esporas de *Cheilanthes* son persistentes y germinan con la presencia de luz y de agua, pueden permanecer viables al menos 15 años y se encuentran a profundidades de 0-10 cm en el suelo, lo cual concuerda con nuestros resultados, ya que fue el género que germinó con más individuos en el banco de esporas. *Cheilanthes* tuvo mayor frecuencia o dominancia con la especie *Cheilanthes kaulfussii* junto con *Myriopteris aurea*, estos datos igualmente coinciden con los de Rodríguez-Romero y colaboradores (2011). Su frecuencia se puede atribuir a dos características: 1. Son especies persistentes durante todo el año y 2. Tienen características morfológicas de plantas de áreas xerófitas. Por lo cual se puede decir que son considerados como elementos importantes en la restauración de ambientes áridos, pues su desarrollo es rápido.

Debemos recordar que la mayoría de los helechos presentan esporas homospóricas no clorofílicas y su viabilidad va de unos días hasta 68 años (Lloyd y Klekowski, 1997), los bancos de esporas de los helechos con esporas no clorofílicas se han categorizado como persistentes (Hock *et al.*, 2006). Gracias a estos antecedentes podemos constatar que el banco de esporas del PECM está conformado por esporas no clorofílicas, de viabilidad larga y categorizado como un banco persistente.

La reintroducción de helechos a partir del banco de esporas produce un efecto positivo en la diversidad genética (Gupta *et al.*, 2014). Por ello la importancia de llevar los esporofitos desarrollados a partir del banco de esporas al PECM.

Helechos del PECM

Un primer listado florístico del PECM fue realizado en el año 2001 por González-Hidalgo y colaboradores donde mencionan ocho especies de helechos, posteriormente González-Hidalgo y colaboradores (2002), reportan siete especies de pteridofitas y dos especies de licofitas. Nuestro estudio actualmente arroja 20 especies de pteridofitas, a comparación de los trabajos previos, no encontramos las especies: *Cheilanthes angustifolia*, *Dryopteris athyroides*, *Blechnum glandulosum* y *Selaginella rupestris*.

El PECM se caracteriza por presentar una heterogeneidad topográfica, lo que de acuerdo con Larkin y colaboradores (2006) debería representar una mayor diversidad de nichos, facilitando la coexistencia entre las especies, incrementando la diversidad (Santibáñez-Andrade *et al.*, 2009). Dicha heterogeneidad se percibe por todo el PECM, además de ser un sitio cuyas estaciones están muy marcadas, por lo que de diciembre a junio se puede encontrar aparentemente seco y de julio a noviembre se puede encontrar verde y con flores de diferentes colores. Comparando con los resultados de temperatura podemos notar que en la temporada seca se obtuvieron las temperaturas más altas y hubo escasez de lluvia, mientras que en la otra, la temperatura fue más constante y hubo presencia de lluvias. Además de esto, la heterogeneidad del Parque se demostró comparando las zonas de muestreo para el banco de esporas, la zona cubierta se mantuvo más constante en cuanto a los niveles de temperatura mientras que la zona expuesta fue más fluctuante, esto puede deberse a que la zona cubierta es

un bosque de encino por lo tanto hay mayor cobertura de sombra en el suelo, mientras que en la zona expuesta no existen árboles de tallas grandes y por ello la intensidad luminosa pega directamente en las plantas y suelo provocando mayores temperaturas, además Mendoza-Hernández y colaboradores (2014) mencionan que la lava absorbe el calor y como consecuencia los pedregales se transforman en islas de calor dentro de la ciudad, por ello sus niveles altos de temperatura en el PECM.

Debemos recordar que 57% del suelo de la CDMX corresponde a áreas de conservación (Cantoral *et al.*, 2009). No existe algún decreto oficial para frenar la pérdida y destrucción de éstas zonas en México, por lo cual poco a poco se van perdiendo. Por ello trabajar con restauración ecológica en sitios perturbados incluyendo a las comunidades de helechos podrán desencadenar una serie de beneficios para las comunidades vegetales, ya que los helechos son considerados formadores de suelo.

Reintroducción de helechos

La reintroducción de especies nativas de áreas perturbadas es una herramienta de la restauración ecológica, con ella se espera que una población de cualquier especie o que han desaparecido de su hábitat natural o su abundancia está alterada debido a distintos disturbios pueda restablecerse y ser viable a largo plazo (Gálvez, 2002).

Martínez-Romero (1996) menciona que para que una restauración ecológica sea exitosa, ésta debe de ser capaz de acelerar el proceso de sucesión

secundaria en un tiempo relativamente corto. Por ello, trabajar con helechos, cuyos ciclos de vida son cortos en comparación con especies maderables, y que además presentan dispersión anemócora, pueden jugar un papel importante en la restauración ecológica (Paul *et al.*, 2014).

Existen muy pocos trabajos sobre reintroducción con helechos a nivel mundial, por lo que se considera un aporte novedoso los resultados de esta tesis ya que en México no hay casos reportados sobre esta reintroducción y restauración con helechos. Aguraiuja (2011) trabajó con la reintroducción de *Woodsia ilvensis* (L.) R. Br. en Estonia, la escala para la reintroducción fue pequeña; los esporofitos que reintrodujo tenían de entre uno a cuatro años de edad, en contraste con ésta tesis la edad máxima que alcanzaron los esporofitos fue de año y medio. Esto puede ser un factor importante para la supervivencia de los esporofitos.

Sumado a esto, existen trabajos en donde se ocupan algún tipo de acolchado en la restauración ecológica para que las especies logren una mayor supervivencia, dichos acolchados puede ser hojarasca del mismo sitio de estudio, paja, polietileno o hidrogel. Éstos modifican las condiciones físicas del suelo y en general, producen un efecto positivo en el crecimiento de las plantas, protegen al suelo de la erosión, reducen la pérdida de la humedad y fluctuaciones de temperatura (Barajas-Guzmán y Barradas, 2013). En esta investigación se utilizó hidrogel para la reintroducción de los esporofitos, debido a que la hojarasca suele ser escasa en las zonas de matorral xerófito y por primera vez se utilizó el acolchado para la reintroducción de helechos.

Nuestros resultados demuestran que la reintroducción de helechos puede ser un proceso rápido, el cual no necesita una cantidad excesiva de recursos tanto financieros como de espacio, dependiendo del tipo de especies que son las seleccionadas para realizar la reintroducción, no es lo mismo trabajar con helechos arborescentes que con helechos terrestres, ya que los helechos arborescentes tienen un crecimiento más lento.

Diferentes autores recomiendan lo que se realizó en la tesis, primero que se estudie la zona, después se realicen listados florísticos y por último se determinen la o las problemáticas de la zona (asentamientos humanos, deforestación, entre otros).

Comunidades sintéticas con helechos

La reintroducción con comunidades sintéticas puede ser una herramienta durante el proceso de la restauración ecológica (Mendoza-Hernández, 2013), ya que con ellas se busca que cada especie pueda cumplir con una función en específico, por ejemplo una especie que retenga más agua, otra que pueda fijar más nitrógeno o fósforo, otra que genere bastante biomasa y así pueda dar la sombra necesaria para evitar la desecación, entre otros factores. Las comunidades sintéticas pueden ser acopladas a heterogeneidad microambiental para favorecer el establecimiento de las especies (Mendoza-Hernández, 2013), como los helechos, durante la recuperación de la cubierta vegetal.

Para que las comunidades sintéticas se pudieran usar con diferentes especies de helechos, se tomaron en cuenta atributos como la abundancia de los esporofitos resultantes del banco de esporas, posteriormente se consideró la especie que genere mayor materia orgánica (MO), por ejemplo, la más abundante fue *C. kaulfussii* y la que genera más MO fue *M. aurea*, estas se asociaron a otras especies cuya abundancia fue muy baja o sus esporofitos no generan tanta MO.

Siguiendo la metodología propuesta por Mendoza-Hernández (2013), se acomodaron en un lugar óptimo, es decir, se seleccionó un área con severa fragmentación del suelo o roca volcánica expuesta, carente de estrato arbóreo y con matorral xerofito como tipo de vegetación, en micrositos con condiciones de orientación y disponibilidad de agua, para su desarrollo, tomando en cuenta factores como la intensidad de luz, presencia de sombra y la ausencia o presencia de musgo en el suelo. Todos estos factores se tomaron en cuenta para ayudar a los helechos a sobrevivir en el PECM, además se les confirió hidrogel el cual ayuda a retener agua y actúa como materia orgánica (Barajas-Guzmán y Barradas, 2013).

La aplicación de comunidades es novedoso para helechos en esta zona de estudio, favorece el establecimiento natural y se optimiza la reintroducción de la vegetación original. Plantea una alternativa para lograr el mayor éxito de sobrevivencia de los helechos. Por ello este trabajo es de suma importancia, pues los bancos de esporas de helechos podrían jugar un papel principal para la restauración ecológica de cualquier sitio.

CONCLUSIONES

Los bancos de esporas presentes en el suelo del PECM son de suma importancia para la dinámica de las comunidades vegetales, pues en él se guarda la información genética de poblaciones pasadas y actuales.

Los bancos de esporas se encuentran dinámico y estable, ya que la germinación de las esporas, el desarrollo de gametofitos y densidad de esporofitos fue alta.

Debido a la escasa disponibilidad de suelo, fue complicada su extracción, sin embargo se confirma la existencia del banco de esporas, aunque se sugiere realizar la toma de muestras en zonas más altas, donde el suelo es más profundo para el caso del PECM.

Existen pocos representantes de helechos en el parque, sin embargo se requiere una exploración más detallada, ya que la lista puede incrementarse.

Los asentamientos humanos son la principal causa de la destrucción del PECM, por lo cual se deben aplicar o reescribir nuevas normas para su protección, cuidado y mantenimiento.

Los helechos pueden favorecer la formación de suelo para otras especies, por lo cual deberían ser incluidos en un programa de restauración ecológica.

Su reintroducción fue relativamente fácil, ya que son especies maleables, soportan los cambios de temperatura y disponibilidad de agua adaptadas al proceso de pre-acondicionamiento y estacionalidad de la zona.

El diseño de comunidades sintéticas se aplicó por primera vez en helechos, esto fue un enfoque novedoso para la reintroducción de cualquier especie, por ello debería de ser utilizado para investigaciones futuras.

Las comunidades sintéticas conformadas pueden desencadenar factores favorables para su establecimiento y desarrollo posterior, además de enriquecer la composición de la comunidad de helechos.

PERSPECTIVAS A FUTURO

Dar a conocer la importancia que juegan los bancos de esporas en cualquier tipo de hábitat a la comunidad tanto directivos, gobernadores, científicos y en general.

Apoyar el fortalecimiento institucional de las autoridades gubernamentales a cargo del PECM. Así como promover la capacitación profesional en el manejo y mantenimiento de la reserva del Ajusco.

Promover la investigación biológica y ecológica sobre la conservación "*in situ*" y "*ex situ*". Invitar a diferentes grupos de investigación para que desarrollen sus proyectos en el PECM, ya que seremos nosotros quienes daremos el conocimiento sobre su conservación a la comunidad científica y local.

Concientizar a las autoridades gubernamentales de la importancia de gestionar fondos para asegurar el mantenimiento, conservación y un manejo sustentable del PECM por tiempo indefinido.

La importancia de la restauración de los hábitats es un proceso que se requiere de manera inmediata dado el deterioro ocasionado en el Ajusco por las diversas actividades antropocéntricas por ello la reintroducción y apoyo a las poblaciones silvestres de helechos, es un proceso para ayudar a la restauración ecológica del PECM. Por lo cual, al mantener el PECM en buenas condiciones ecológicas estamos conservando los bancos de esporas (diversidad genética o banco de genes) en el ecosistema y por ende contribuyendo a mantener la diversidad biológica de este lugar.

Para conservar la diversidad biológica de México, es importante impulsar los programas de conservación, y que las especies sean re-introducidas a sus áreas originales y contribuir con ello a la recuperación, restauración y mantenimiento de los ecosistemas presentes en el PECM. Esto se puede lograr incrementando la conciencia pública y política de la importancia de la conservación y el significado de la extinción de especies, ya que son el pulmón de la ciudad tan contaminada.

Anexo I

Criterios morfológicos para identificar las plántulas de helechos resultado del banco de esporas.

Taxa	Descripción
<i>Asplenium spp.</i>	Rizoma erecto con escamas clatradas. Venación libre. Pecíolo verde.
<i>Cheilanthes kaulfussii</i>	Rizoma corto con escamas lineares negras. Haz y envés con tricomas glandulares. Venación libre.
<i>Cheilanthes s.l.</i>	Rizoma cespitoso, ascendente. Pecíolo con un haz vascular. Venación libre. Láminas pilosas a escamosas.
<i>Mildella fallax</i>	Rizoma con escamas lineares castaño claras. Pecíolo y raquis negro, con pelos claviformes. Venación libre.
<i>Myriopteris aurea</i>	Rizoma cespitoso con escamas lanceoladas y bicoloras. Pecíolo y raquis tomentoso. Lámina de contorno linear-elíptico. Haz tomentoso. Envés blanco. Venación libre.
<i>Nephrolepis spp.</i>	Rizoma erecto con escamas. Pinnas glabras y articuladas. Venación libre.
<i>Notholaena spp.</i>	Rizoma cespitoso. Lámina farinosa abaxialmente con pelos o escamas. Venación libre.
<i>Pellaea spp.</i>	Rizoma cubierto por escamas lineares bicoloras. Lámina pinnada a tripinnada glabra o con tricomas esparcidos. Venación libre.
<i>Pellaea ternifolia</i>	Rizoma con escamas lineares y bicoloras. Pecíolo glabro y negro. Raquis glabro. Lámina de contorno linear. Haz y envés glabro. Venación libre.
<i>Thelypteris spp.</i>	Rizoma con escamas ciliadas en el margen. Pecíolo, raquis y costa adaxialmente sulcados. Hojas pubescentes. Venación libre o reticulada.

Anexo II

Datos morfológicos de la pteridoflora en pie del PECM.

Especie	Descripción
<i>Asplenium monanthes</i> L.	Planta terrestre, rupícola; rizoma erecto a ascendente; pecíolo cubierto por escamas; hojas de 53 cm de largo; lámina 1-pinnada; pinnas oblongas, de color verde claro; soros con indusio hialino o verdoso; esporas monoletes color pardo claro.
<i>Asplenium praemorsum</i> Sw.	Planta epífita; rizoma ascendente, cubierto por escamas densas lanceoladas a linear-lanceoladas; raquis y pecíolo escamosos; lámina de 30 cm de largo, pinnada-pinnatífida a bipinnada; haz glabro; envés escamoso; nervaduras libres; soros cubiertos por un indusio entero; esporas monoletes.
<i>Asplenium resiliens</i> Kunze	Planta terrestre; rizoma erecto cubierto por escamas lanceoladas, negras y con margen hialino; frondes de 15 cm; glabro y negro; lámina de contorno linear-lanceolado, pinnada; haz y envés glabros; nervaduras libres; soros cubiertos por un indusio completo; esporas monoletes.
<i>Dryopteris cinnamomea</i> (Cav.) C. Chr.	Planta terrestre con rizoma erecto, cubierto por escamas ovadas; hojas de 40 cm de largo; lámina cubierto en la parte inferior por escamas, de contorno lanceolar, bipinnada-pinatífida; raquis glabro; nervaduras libres; soros circulares, cubiertos por un indusio redondo-reniforme; esporas monoletes.
<i>Phlebodium pseudoaureum</i> (Cav.) Lellinger	Planta terrestre; rizoma rastrero, con escamas pardas; pecíolo articulado al rizoma; hojas de 58 cm de largo; lámina pinnatífida; soros redondos, amarillos y sin indusio; esporas monoletes, amarillas.
<i>Pleopeltis madrensis</i> (J. Sm.) A. R. Sm. & Tejero	Planta epífita; rizoma cubierto por escamas bicoloras lanceoladas; hojas de 20-40 cm de largo; pecíolo cubierto por escamas; lámina pinnatífida; haz glabro; envés con escamas redondas, de inserción basifija, bicoloras; nervaduras libres; soros redondeados; esporas monoletes.
<i>Pleopeltis plebeia</i> (Schltdl. & Cham.) A. R. Sm. & Tejero	Planta epífita; rizoma cubierto por escamas lanceoladas; lámina de contorno oblongo; haz glabro a levemente escamoso; escamas del envés lineares; nervaduras libres; soros sobre vena lateral; esporas monoletes.
<i>Pleopeltis thyssanolepis</i> (A. Braun ex Klotzsch) A. R. Sm. & Tejero	Planta rupícola; rizoma largamente rastrero, con escamas bicoloras, clatradas en las alas; hojas de 30 cm de largo; lámina pinnatisecta, escamosa en ambas superficies; soros redondos, cubiertos por escamas; esporas monoletes.
<i>Pleopeltis guttata</i> (Maxon) E.G. Andrews & Windham	Planta epífita; rizoma cubierto por escamas lanceoladas; lámina de contorno oblongo; haz glabro a levemente escamoso; hojas de 40 cm; escamas del envés ovadas a deltoide-ovada; nervaduras libres; soros sobre vena lateral que nace de venillas secundarias; esporas monoletes.

<i>Polypodium subpetiolatum</i> Hook	Planta epífita; rizoma corto a largamente rastrero; hojas de 68 cm de largo; pecíolo surcado, glabro; lámina pinnada, con ápice pinnatífido; soros redondos, en una hilera entre la costa y el margen; esporangios setulosos; esporas monoletes.
<i>Gaga marginata</i> (Kunth) F. W. Li & Windham	Planta terrestre; 40 cm de largo; rizoma cortamente rastrero y compacto; pecíolo pardo; lámina 3-pinnada a 3-pinnado-pinnatífida; soros con indusio reflexo, ciliado; esporas triletes pardas.
<i>Mildella fallax</i> (M. Martens & Galeotti) Nesom	Planta terrestre con rizoma corto, cubierto por escamas linear-lanceoladas; hojas de 30 cm de largo; pecíolo glabro; raquis cubierto por tricomas; lámina pinnada a bipinnada; nervaduras libres; esporangios situados en el extremo de las venas cubiertos por un indusio inframarginal.
<i>Myriopteris aurea</i> (Poir.) Grusz & Windham	Planta terrestre; 65 cm de largo; rizoma cortamente rastrero, cubierto por escamas; pecíolo piloso; lámina 1-pinnado-pinnatífida; haz y envés peloso; soros marginales con indusio verde, entero; esporas triletes de color pardo oscuro a atropurpureas.
<i>Myriopteris myriophylla</i> (Desv.) Sm.	Planta terrestre; rizoma compacto, cortamente rastrero, con escamas bicoloras; hojas monomorfas de 33 cm de largo; lámina 3-4 pinnada, superficie abaxial escamoso; soros con indusio reflexo, entero, verde; esporas triletes.
<i>Pellaea ovata</i> (Desv.) Weath.	Planta terrestre; rizoma largamente rastrero, cubierto por escamas bicoloras pardo amarillentas; hojas de 60 cm de largo; pecíolo glabro; raquis de color pardo; lámina de 2 a 4 pinnada, segmentos elípticos; soros marginales protegidos por el margen reflexo; esporas triletes de color pardo oscuro.
<i>Pellaea ternifolia</i> var. <i>ternifolia</i> (Cav.) Link	Planta terrestre; rizoma corto y compacto, cubierto por escamas bicoloras; pecíolo glabro; pinnas coriáceas, enteras, lanceoladas, sésiles, margen entero; has y envés glabro; nervaduras libres; esporangios protegidos por el margen reflexo; esporas triletes.
<i>Pityrogramma ebenea</i> L. Proctor	Planta terrestre con rizoma erecto cubierto por escamas, lineares; pecíolo glabro y en la base con escamas; raquis glabro; lámina de contorno deltado, bipinnada a bipinnada-pinnatífida; envés farinoso; venación libre; esporangios en la parte terminal de las venas; esporas triletes.
<i>Woodsia mollis</i> (Kaulf.) J. Sm.	Planta terrestre, con rizoma ascendente, compacto, cubierto por escamas lanceoladas negras; lámina de 60 cm de largo, pinnada a pinnada-pinatífida; pecíolo cubierto por escamas concoloras; raquis piloso o glandular con escamas esparcidas; nervaduras libres; soros redondos; indusio vellosos; esporas monoletes.
<i>Adiantum concinnum</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Planta terrestre, rizoma suberecto con escamas de color castaño. lámina 2-3 pinnada, ovado a lanceoladas, glabras; raquis y costa glabras; nervaduras libres.

Tomado de: Mickel y Smith, (2004); Castillo-Argüero *et al*, (2007); Mendoza-Ruiz y Pérez-García (2009).

BIBLIOGRAFÍA

- Acebey, A. R., Krömer, T., Vázquez-Torres, M., y Tejero-Díez, J. D. (2015). Helechos y licófitos de la reserva de la biósfera Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Botanical Sciences*, 93 (2), 399-400.
- Agurauja, R. (2011). Reintroduction of the endangered fern species *Woodsia ilvensis* to Estonia: a long-term pilot study. *Biodiversity conservation*, 20, 391-400.
- Álvarez-Sánchez, F. J., Carabias, J., Meave, J., Moreno-Cassasola, P., Nava-Fernández, D., Rodríguez-Zahar, F., Tovar, C., y Valiente-Banuet, A. (1982). *Proyecto para la creación de una reserva en el Pedregal de San Ángel*. D.F, México: Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Antonio-Garcés, J., Peña, M., Cano-Santana, Z., Villeda, M., y Orozco-Segovia, A. (2009). Cambios en la estructura de la vegetación derivados de acciones de restauración ecológica en las zonas de Amortiguamiento Biológicas y Viveros Altos. En A. Lot., y Z. Cano-Santana. (Eds.). *Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal de San Ángel* (pp. 465-481). D.F, México: UNAM.
- Araiza-Ramírez, E. (2007). *Efecto del endurecimiento natural, preacondicionamiento hídrico y acolchados en la supervivencia y establecimiento de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq, en el Ajusco con fines de*

restauración ecológica (Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias Biológicas, Biología ambiental). UNAM, México.

Arbeláez, A. L. (1996). *Flora de Colombia. La tribu Pterideae (Pteridaceae)*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Ciencias naturales. Museo de Historia Natural.

Arjen de Groot, G., y During, H. (2013). Fern spore longevity in saline water: Can sea bottom sediments maintain a viable spore bank? *Plos one*, 8 (11), e79470.

Ballesteros, D. (2011). Conservation of fern spores. En H. Fernández., A. Kumar., y M. A. Revilla. (Eds.). *Working with Ferns Issues and Applications* (pp. 165-172). New York, USA: Springer.

Barajas-Guzmán, M. G., y Barradas, V. L. (2013). Costos y beneficios de la aplicación de acolchados en la reforestación de los Bosques Tropicales Caducifolios. *Botanical Sciences*, 91 (3), 363-370.

Bedoya-Patiño, J. G., Estévez-Varón, J. V., y Castaño-Villa, G. J. (2010). Banco de semillas del suelo y su papel en la recuperación de los bosques tropicales. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 14 (2), 77-91.

Begon, M., Townsend, C. R., y Harper, J. L. (2006). *Ecology. From individuals to ecosystems*. USA: Blackwell publishing.

- Bell, P.R. (1979). The contribution of the ferns to an understanding of the life cycles of vascular plants. En A. F. Dyer. (Ed.). *The experimental biology of ferns* (pp. 58-85). London: Academic Press.
- Bonfil, C. (2006). Regeneration and population dynamics of *Quercus rugosa* at the Ajusco Volcano, Mexico. En M. Kappelle. (Ed.), *Ecology and conservation of Neotropical montane oak forests* (pp. 155-163). Berlín, Alemania: Springer-Verlag.
- Brooker, W. R., Maestre, F. T., Callaway, R. M., Lortie, C. L., Cavieres, L. A., Kunstler, G., Liancourt, P., Tielborg, K., Travis, J. M. J., Anhelme, F., Armas, C., Coll, L., Corcket, E., Delzon, S., Forey, E., Kikvidze, Z., Olofsson, J., Pugnaire, F., Quiroz, L., Saccone, P., Schiffers, K., Seifan, M., Touzard, B., y Michalet, R. (2008). Facilitation in plant communities: the past, the present and the future. *Journal of Ecology*, 96, 18-34.
- Cano-Santana, Z. (1994). La Reserva del pedregal como ecosistema. En A. Rojo. (Comp.). *Reserva Ecológica "El Pedregal" de San Ángel: Ecología, Historia Natural y Manejo* (pp. 275-281). D.F, México: UNAM.
- Cano-Santana, Z., Castillo-Argüero, S., Martínez-Orea, Y., y Juárez-Orozco, S. (2008). Análisis de la riqueza vegetal y el valor de conservación de tres áreas incorporadas a la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Distrito Federal (México). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 82, 1-14.

- Cano-Santana, Z., y Meave, J. (1996). Sucesión primaria en derrames volcánicos: el caso del Xitle. *Ciencias*, 41, 58-68.
- Cantoral, E., Almeida, L., Cifuentes, J., León, L., Martínez, A., Nieto, A., Mendoza, P., Villarruel, J. L., Aguilar, V., Ávila, V., Olguín, H., y Puebla, F. (2009). La biodiversidad de una cuenca en la Ciudad de México. *ContactoS*, 94, 28-33.
- Carrillo-Trueba, C. (1995). *El pedregal de San Ángel*. D. F, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Castillo, A. S., Orea, Y. M., Romero, M. A. R., Chávez, P. G., Castillo, O. N., Gallén, I. S., y Meave, J. A. (2007). *La Reserva del Pedregal de San Ángel. Aspectos Florísticos y Ecológicos*. D. F, México: Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Castillo-Argüero, S., Montes-Cartas, G., Romero-Romero, M. A., Martínez-Orea, Y., Guadarrama-Chávez, P., Sánchez-Gallén, I., y Núñez-Castillo, O. (2004). Dinámica y conservación de la flora del matorral xerófilo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (D. F. México). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 74, 51-75.
- Challenger, A., y Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres. En Soberón, J., Halffter, G., y Llorente-Bousquets, J. (Comp.), *Capital natural de México. Conocimiento actual de la biodiversidad* (pp. 87-108). Distrito Federal, México: CONABIO.

- Coles, F. (1988). *Aspects of the application of palynology to cave deposits in the magnesian limestone region of North Notting Hampshire*. (Ph. D. Thesis). University of Sheffield.
- Constantino, S., Santamaria, L. M., y Hodson, E. (2000). Storage and in vitro germination of tree fern spores. *Botanical Garden Micropropagation News*, 24, 58-60.
- Coop, N. C., Wulder, M. A., y White, J. C. (2007). Identifying and describing forest disturbance and spatial pattern: data selection issues and methodological implications. En M. A. Wulder y S. E. Franklin. (Eds.), *Understanding forest disturbance and spatial pattern* (pp. 31-62). Boca Ratón, USA: Taylor & Francis Group.
- Cubas, P. (1989). Procesos citogenéticos de especiación en pteridophyta. *Annales Jardín Botánico de Madrid*, 46 (2), 519-531.
- Dalling, J. W. (2002). Ecología de semillas. En M. R. Guariguata y G. H. Kattan. (Comp.). *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Costa Rica: LUR.
- De Souza, M. M., Maia, F. C., y Pérez, M. A. (2006). Banco de semillas en el suelo. *Agriscientia*, XXIII (1), 33-44.
- Duckett, J. G., y Clymo, R. S. (1988). Regeneration of bog liverworts. *New Phytologist*, 110, 119-127.

- During, H. J., Bruges, M., Cros, R. M., y Lloret, F. (1987). The diaspora bank of bryophytes and ferns in some contrasting habitats around Barcelona, Spain. *Lindbergia*, 12, 137-149.
- Dyer, A. F. (1979). The culture of fern gametophytes for experimental investigation. En A. F. Dyer. (Ed.). *The experimental biology of ferns* (pp. 254-305). London: Academic Press.
- Dyer, A. F. (1994). Natural soil spore banks – can they be used to retrieve lost ferns? *Biodiversity and conservation*, 3, 160-175.
- Dyer, A. F., y Lindsay, S. (1992). Soil spore banks of temperate ferns. *American Fern Journal*, 82 (3), 89-122.
- Falk, D. A., Palmer, M. A., y Zedler, J. B. (2006). *Foundations of Restoration International*. Washington, USA: Island Press.
- Fernández, I., Morales, N., Olivares, L., Salvatierra, J., Gómez, M., y Montenegro, G. (2010). *Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales*. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Furnes, S. B., y Hall, R. H. (1981). An explanation of the intermittent occurrence of *Physcomitrium sphaericum* (Hedw.). *British Journal Bryology*, 11, 733-742.
- Gabriel y Galán, J. M., y Prada, C. (2011). Pteridophyte Spore Viability. En H. Fernández., A. Kumar., y M. A. Revilla (Eds.). *Working with Ferns Issues and Applications* (pp. 193-204). New York, USA: Springer.

- Gálvez, J. (2002). *La restauración ecológica: Conceptos y aplicaciones*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente.
- Gann, G. D., y Lamb, D. (2006). La restauración ecológica: un medio para conservar la biodiversidad y mantener los medios de vida. *Society for Ecological Restoration (SER) International*. Tucson, USA.
- García, A. G. (1999). Biodiversidad de especies en México. SEMARTAT. Disponible en: http://www.conevyt.org.mx/actividades/diversidad/lectura_biodiversidad.htm
Última consulta: 19/10/2016.
- Gobierno del Distrito Federal. (2006-2012). Conservación y uso sustentable de la biodiversidad del Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente.
- Gómez-Noguez, F., Pérez-García, B., Mendoza-Ruiz, A., y Orozco-Segovia, A. (2013). Flora palinológica de los helechos y licofitas del Río Malilla, Hidalgo, México. *Botanical Sciences*, 91 (1), 135-154.
- González-Hidalgo, B., Orozco-Segovia, A., y Diego-Pérez, N. (2001). La vegetación de la Reserva Ecológica Lomas del Seminario, Ajusco, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 69, 77-99.
- González-Hidalgo, B., Orozco-Segovia, A., y Diego-Pérez, N. (2002). Florística y afinidades fitogeográficas de la Reserva Lomas del Seminario (Ajusco medio, Distrito Federal). *Acta Botanica Hungarica*, 44 (3-4), 297-316.

- González-Zertuche, L., Orozco-Segovia, A., y Vázquez-Yanes, A. (1999). El ambiente de la semilla en el suelo: su efecto en la germinación y la sobrevivencia de la plántula. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 65, 73-81.
- González-Zertuche, L., y Orozco-Segovia, A. (1996). Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 58, 15-30.
- Gupta, S., Madhuparna, H., y Biswas, S. (2014). An overview of the study of soil spore bank of ferns: Need for suitable exploitation in India. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 84, 779-798.
- Hernández, J. J., Flores, B., Gómez, D., Pajarón, S., y Pangua, E. (2012). El banco de esporas de *Athyrium filix-femina* y *Dryopteris filix-mas* en un pinar de la Sierra de Guadarrama. *Botánica Complutensis*, 3, 79-83.
- Hock, Z., Szövényi, D., y Zoltán, T. (2006). Seasonal variation in the spore bank of ferns in grasslands on dolomite rock. *Plant Ecology*, 18 (2), 289-296.
- Jones, D. L. (1987). *Encyclopaedia of ferns. An introduction to ferns, their structure, biology, economic importance, cultivation and propagation*. Oregon, USA.
- Lakin, D., Vivian-Smith, G., y Zedler, J. B. (2006). Topographic heterogeneity theory and ecological restoration. En D. A. Falk., M. A. Palmer., y J. B.

- Zedler. (Eds.), *Foundations of restoration ecology* (pp. 142-164). Society for ecological restoration international: Island Press.
- Leck, M., Parker, A., y Simpson, R. L. (1989). *Ecology of seed banks*. San Diego, USA: Academic Press.
- Lloyd, R. M., y Klekowski, Jr. E. J. (1997). Spore germination and viability in Pteridophyta: Evolutionary significance of Chlorophyllous spores. *Biotropica*, 2 (2), 129-137.
- Lorea, F., y Riba, R. (1990). *Guía para la recolección y preparación de ejemplares de herbario para pteridofitas*. D. F., México: Consejo Nacional de la Flora de México, A. C.
- Lot, A., y Camarena, P. (2009). El Pedregal de San Ángel de la Ciudad de México: reserva ecológica urbana de la Universidad Nacional. En A. Lot., y Z. Cano-Santana. (Eds.). *Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal de San Ángel* (pp. 19-25). D.F, México: UNAM.
- Luna-Vega, I. (2008). Aplicaciones de la biogeografía histórica a la distribución de las plantas mexicanas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 79, 217-241.
- Maestre, F. T., Cortina, J., y Vallejo, R. (2006). Are ecosystem composition, structure and functional status related to restoration success? A test from semiarid Mediterranean steppes. *Restoration Ecology*, 14, 258-266.
- Major, J. (1990). Soil seed Banks – another perspective. *Ecology*, 71 (3), 1228.

- Marañón, T. (1995). Ecología de los bancos de semillas en el suelo: una revisión de estudios españoles. *PASTOS*, XXV (1), 3-25.
- Marañón, T. (2001). Ecología del banco de semillas y dinámica de comunidades mediterráneas. En R. Zamora-Rodríguez., y F. I. Pugnaire de Iraola. (Eds.). *Ecosistemas mediterráneos. Análisis funcional.* (pp. 153-181). Madrid, España: Consejo superior de investigaciones científicas.
- Martínez-Romero, E. (1996). La restauración ecológica. *Ciencias*, 43, 56-31.
- Martínez-Salas, E., y Ramos, C. H. (2014). Biodiversidad de Pteridophyta en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, S110-S113.
- Maunder, M. (1992). Plant reintroduction: an overview. *Biodiversity and conservation*, 1, 51-61.
- Mehltreter, K. (2008). Helechos. En R. H. Manson., V. Hernández-Ortiz., S. Gallina., y K. Mehltreter. (Eds.). *Agroecosistemas cafetaleras de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto Nacional de Ecología (INE)* (pp. 83-93). México: Instituto de Ecología A. C INECOL e INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA y SEMARNAT.
- Mehltreter, K. y Palacios-Ríos, M. (2003). Phenological studies of *Acrostichum danaeifolium* (Pteridaceae, Pteridophyta) at a mangrove site on the Gulf of Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 19 (2), 155-162.
- Mehltreter, K., Walker, L. R., y Sharpe, J. M. (2010). *Fern Ecology.* USA: Cambridge University Press.

- Mendoza, A., Pérez-García, B., Reyes-Jaramillo, I., y Ricci, M. (1996-1997).
Desarrollo del gametofito de *Pteris berteriana* (Pteridaceae: Pteridae).
Revista de Biología Tropical, 44 (1), 51-57.
- Mendoza-Hernández, P. E. (2013). *Comunidades sintéticas para la restauración sucesional del bosque de encino y el matorral xerófilo del Ajusco medio, Distrito Federal; México* (Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias). UNAM, México, D. F.
- Mendoza-Hernández, P. E., Rosete-rodíguez, A., Pedrero-López, L., Martínez-Villegas, J. A., Sánchez-Coronado, M. E., y Orozco-Segovia, A. (2016). Estrategias ecofisiológicas para la restauración de un pedregal urbano: el caso del Parque Ecológico de la Ciudad de México. En E. Ceccon., y C. Martínez-Garza. (Coord.), *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas* (pp. 237-254). Ciudad de México, México: UNAM, CRIM, UAEM y CONABIO.
- Mendoza-Hernández, P. E., Rosete-Rodríguez, A., Sánchez-Coronado, M. E., Orozco, S., Pedrero-López, L., Méndez, I., y Orozco-Segovia, A. (2014). Vegetation patches improve the establishment of *Salvia mexicana* seedlings by modifying microclimatic conditions. *International journal of biometeorology*, 58, 853-866.
- Mendoza-Hernández, P. E., y Cano-Santana, Z. (2009). Elementos para la restauración ecológica de pedregales: la rehabilitación de áreas verdes de

- la Facultad de Ciencias en Ciudad Universitaria. En A. Lot., y Z. Cano-Santana. (Eds.). *Biodiversidad de Ecosistema del Pedregal de San Ángel* (pp. 523-532). D. F., México: UNAM.
- Mendoza-Ruiz, A., y Pérez-García, B. (2009). *Helechos y licopodios de México*. D.F. México: CONABIO, UAM.
- Mickel, J. T., y Smith, A. R. (2004). *The pteridophytes of Mexico*. New York, USA: The New York Botanical Garden.
- Montenegro-S, A. L., Parra, Y. A. Á., Mendiverso-Ch, H. A., y Vargas, O. (2006). Potencial del banco de semillas en la regeneración de la vegetación del humedal Jaboque, Bogotá, Colombia. *Caldasia*, 28 (2), 285-306.
- Moran, C. R. (2004). *A natural history of ferns*. USA: Cambridge.
- Noblin, X., Rojas, N. O., Westbrook, J., Llorens, C., Argentina, M., y Dumais, J. (2012). The fern-sporangium? A unique catapult. *Science*, 335 (6074), 1322.
- Page, C. N. (1979). The diversity of ferns: An ecological perspective. En A. F. Dyer. (Ed.). *The experimental biology of ferns* (pp. 10-56). London: Academic Press.
- Paul, S. K., Dixon, K. W., y Miller, B. O. (2014). The persistence and germination of fern spore in fire-prone, semi-arid environments. *Australian Journal of Botany*, 62, 518-527.

- Penrod, K. A., y Mc Cormick, C. H. (1996). Abundance of viable hay-scented fern spores germinated from hardwood forest soils at various distances from a source. *American Fern Journal*, 86 (3), 69-79.
- Pérez-García, B., Orozco-Segovia, A., y Riba, R. (1982). El banco de esporas de helechos en el suelo de los Tuxtlas, Ver. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 43, 89-92.
- Pérez-García, B., y Reyes-Jaramillo, I. (1993). Helechos: propagación y conservación. *Ciencias*, 30, 10-18.
- Piudo, M. J., y Cavero, R. Y. (2005). Banco de semillas: Comparación de metodologías de extracción, de densidad y de profundidad de muestreo. *Publicaciones de Biología, Universidad de Navarra, Serie Botánica*, 16, 71-85.
- Pteridophyte Phylogene Group (PPG I). (2016). A community-derived classification for extant lycophytes and ferns. *Journal of Systematics and Evolution*, 54 (6), 563-603.
- Puche, F., Mateu, I., y Casañ, A. (1988). Esporas de briofitos españoles II. Hepáticas. *Lagascalia*, 15 (1), 7-24.
- Raghavan, V. (1989). *Developmental biology of fern gametophytes*. Great Britain: Cambridge University Press.

- Ramírez-Trejo, M. R. (2002). *Los bancos de esporas de helechos en diferentes suelos y tipos de vegetación del estado de Hidalgo* (Tesis de Maestría). UNAM, México.
- Ramírez-Trejo, M. R., Pérez-García, B., Pérez-Salicrup, D. R., y Orozco-Segovia, A. (2010). Effect of fire on the germination of spore of *Pteridium caudatum*, an invasive fern. *Journal of Tropical Ecology*, 26, 457-465.
- Ramírez-Trejo, M. R., Pérez-García, B., y Orozco-Segovia, A. (2004). Analysis of fern spore banks from the soil of three vegetation types in the central region of Mexico. *American Journal of Botany*, 91 (5), 682-688.
- Ramírez-Trejo, M. R., Pérez-García, B., y Orozco-Segovia, A. D. (2007). Helechos invasores y sucesión secundaria post-fuego. *Ciencias*, 85, 19-25.
- Ramírez-Trejo, M. R., Pérez-García, B., y Riba, R. (2000). El suelo...un banco natural de esporas y helechos. *ContactoS*, 36, 15-18.
- Reyes-Jaramillo, I. (2015). *Manual de prácticas: "técnicas para el estudio del suelo"*. D. F., México: Universidad Autónoma Metropolitana. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento de Biología.
- Riba, R. (1993). Pteridofitas mexicanas: distribución y endemismo. En T. P. Ramamoorthy., R. Bye., A. Lot, J. Fa (Eds.). *Diversidad biológica de México. Orígenes y distribución* (385-408). D. F. México: Instituto de Biología, UNAM.

- Riviera-Hernández, J., y Espinosa-Henze, A. (2007). Flora y vegetación del Distrito Federal. En Luna, I., Morrone, J. J., y Espinosa, D. (Eds.). *Biodiversidad de la faja Transmexicana* (pp. 231-253). D.F. México: UNAM.
- Roberts, E. H. (1973). Predicting the storage life of seeds. *Seed Sciences Technology*, 1, 499-514.
- Rodríguez-Romero, Ma. L., Zavala-Hurtado, J. A., y Pacheco, L. (2011). Presencia, abundancia y estrategias reproductivas de helechos en áreas alteradas de la Sierra Nevada, México. *Revista de Biología Tropical*, 59 (1), 417-433.
- Rojo-A., y Rodríguez, J. (2002). *La flora del Pedregal de San Ángel*. D. F., México: SEMARNAT.
- Rzedowski, J. (1954). Vegetación del Pedregal de San Ángel. Distrito Federal, México. *Anales de la Escuela de Ciencias Biológicas, I. P. N., México*, 8, 59-129.
- Rzedowski, J. (1993). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. En T. P. Ramamoorthy., R. Bye., A. Lot, J. Fa (Eds.). *Diversidad biológica de México. Orígenes y distribución* (129-148). D. F. México: Instituto de Biología, UNAM.
- Santibáñez-Andrade, G., Castillo-Argüero, S., Zavala-Hurtado, J. A., Martínez-Orea, Y., y Hernández-Apolinar, M. (2009). La heterogeneidad ambiental en un matorral xerófilo. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 85, 71-79.

- Schneller, J. J. (1988). Spore bank, dark germinations and gender determination in *Athyrium* and *Dryopteris*. Results and implications for population biology of pteridophyta. *Botanica Helvetica*, 98, 77-86.
- Schteingart, M. (1987). Expansión urbana, conflictos sociales y deterioro ambiental en la Ciudad de México. El caso del Ajusco. *Estudios demográficos y urbanos*, 2 (3), 449-477.
- SEMARNAT y CONAFOR. (2009). *Restauración de ecosistemas forestales. Guía básica para comunicadores*. D. F. México.
- SEMARNAT. (2007). El Pedregal: mar de lava, refugio de flora y fauna. Instituto nacional de ecología. Disponible en: www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/379/pedregal.html Última consulta: 1970172018.
- Shachak, M., Boeken, B., Groner, E., Kadmon, R., Lubin, Y., Meron, E., Neéman, G., Perevolotsky, A., Shked, Y., y Ungar, E. D. (2008). Woody species as landscape modulators and their effect on biodiversity patterns. *BioScience*, 58, 209-221.
- Siebe, C. (2000). Age and archaeological implications of Xitle volcano, southwestern Basin of Mexico-City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 104, 45-64.
- Soberón, M. J., Cruz-Rojas, M., y Jiménez, C. G. (1991). Ecología hipotética de la Reserva del Pedregal de San Ángel. *Ciencia y Desarrollo*, 17 (99), 25-38.

- Sundue, M., Vasco, A., y Moran, R. C. (2011). Cryptochlorophyllous spores in ferns: nongreen spores that contain chlorophyll. *International Journal of Plants Sciences*, 172 (9), 1110-1119.
- Tejero-Díez, J. D., Torres-Díaz, A., y Gual-Díaz, M. (2014). Licopodios y helechos en el bosque mesófilo de montaña de México. En M. Gual-Díaz., y A. Rendón-Correa (Eds.). *Bosques mesófilos de montaña de México, diversidad, ecología y manejo*. (197-220). México: CONABIO.
- Tejero-Díez, J. D., y Torres-Díaz, A. N. (2016). Licopodios y helechos (pteridobionta). En CONABIO/SEDEMA. *La biodiversidad en la Ciudad de México* (87-98). México: CONABIO/SEDEMA.
- Trombulak, S. C., Omland, K. S., Robinson, J. A., Lusk, J. J., Fleischner, T. L., Brown, G., y Domroese, M. (2004). Principles of conservation biology: recommended guidelines for conservation literacy from the education committee of the society for conservation biology. *Conservation Education*, 18 (5), 1180-1190.
- Tryon, A. F y Lugardon, B. (1990). *Spore of the Pteridophyta*. New York, USA: Springer-Verlag.
- Tseng, M. H., Lin, K. H., Huang, Y. J., Chang, Y. L., Huang, S. C., Kuo, L. Y., y Huang, Y. M. (2017). Detection of chlorophylls in spores of seven ferns. *Journal of Plant Research*, 130 (2), 407-416.

- Valiente-Banuet, A. (1990). Una lista florística actualizada para la reserva del pedregal de San Ángel, México, D. F. *Acta Botánica Mexicana*, 9, 13-30.
- Vargas-Ríos, O. (2011). Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. *Acta biológica Colombiana*, 16 (2), 221-246.
- Vázquez-Yanes, C. (1987). Los bancos de almacenamiento de semillas en la conservación de especies vegetales. *Ciencias*, 38, 293-246.
- Vázquez-Yanes, C. (1990). Ecología y conservación de semillas. *Ciencias*, 4, 30-33.
- Vázquez-Yanes, C., y Orozco-Segovia, A. (1984). Fisiología ecológica de las semillas de árboles de la selva tropical. Un reflejo de su ambiente. *Ciencias*, 35, 191-201.
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 559-902.
- Walker, T. G. (1979). The cytogenetics of ferns. En A. F. Dyer. (Ed.). *The experimental biology of ferns* (pp. 87-122). London: Academic Press Inc.
- Woolley, J. T., y Stoller, E. W. (1978). Light penetration and light-induced seed germination in soil. *Plant Physiology*, 61, 597-600.
- Yi-Shan, C., Ho-Yih, L., Yu-Chung, C., y Wen-Liang, C. (2012). Polyploidy and speciation in *Pteris* (Pteridaceae). *Journal of Botany*, 2012, 1-7.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00166

Matrícula: 2153803940

BANCO DE ESPORAS DE
PTERIDOFITAS DEL PARQUE
ECOLÓGICO EL AJUSCO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

En la Ciudad de México, se presentaron a las 12:00 horas del día 24 del mes de abril del año 2018 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

M. EN C. ANICETO CASIMIRO MENDOZA RUIZ
DR. FELIPE GOMEZ NOGUEZ
DR. PEDRO ELOY MENDOZA HERNANDEZ
M. EN C. ANA ROSA LOPEZ FERRARI



ALEJANDRA CASTREJON VARELA
ALUMNA

Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretaria la última, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRA EN BIOLOGIA

DE: ALEJANDRA CASTREJON VARELA

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

APROBAR

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó a la interesada el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

REVISÓ

LIC. JULIO CESAR DE LARA ISASSI
DIRECTOR DE SISTEMAS ESCOLARES

DIRECTORA DE LA DIVISIÓN DE CBS

DRA. SARA LUCIA CAMARGO RICALDE

PRESIDENTE

M. EN C. ANICETO CASIMIRO MENDOZA RUIZ

VOCAL

DR. FELIPE GOMEZ NOGUEZ

VOCAL

DR. PEDRO ELOY MENDOZA HERNANDEZ

SECRETARIA

M. EN C. ANA ROSA LOPEZ FERRARI